Phys.sp.
271
pb

Phys. sp.
271 pb
Günther
E, A

Bayerische Staatsbibliothek
<36647656350019

DIE

METEOROLOGIE

IHREM NEUESTEN STANDPUNKTE GEMÄSS

UND

MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG

GEOGRAPHISCHER FRAGEN

DARGESTELLT

VON

DR. SIEGMUND GÜNTHER

PROFESSOR AN DER K. TECHNISCHEN HOCHSCHULE MÜNCHEN.

MIT 71 ABBILDUNGEN.

MÜNCHEN.

THEODOR ACKERMANN

KÖNIGLICHER HOF-BUCHHÄNDLER.

1889.

Alle Rechte vorbehalten.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

BAYERISCHE STAATS- BIBLIOTHEK MUENCHEN

Vorwort.

Zu der Abfassung dieses Werkchens ist der Verfasser zunächst durch äussere Gründe bewogen worden, nachdem an ihn die Aufforderung ergangen war, für eine grössere, lieferungsweise erscheinende Gesamtdarstellung der Naturwissenschaften eben das meteorologische Fach zu übernehmen. Allerdings entschloss er sich hiezu nicht ohne Bedenken, denn es konnte fraglich scheinen, ob nicht die vorhandenen Lehrbücher dem Bedürfnisse vollständig entsprächen. In einer Hinsicht allerdings schien eine Lücke unverkennbar zu sein. Wir besitzen eine treffliche ganz elementare Litteratur, aus der wir hier nur den für den Anfänger mustergiltigen Leitfaden von Herm. J. Klein namhaft machen wollen, wir erfreuen uns auch für die Hauptzweige der Meteorologie — Atmosphaerische Dynamik, Klimatologie und Prognostik — in den Handbüchern von Sprung, Hann-Woeikow und van Bebber einer Serie von Werken, wie sie für die Zwecke des Höherstrebenden nicht besser gedacht werden können. In der Mitte zwischen beiden Kategorien dagegen steht einzig das in seiner Art ja anerkanntermassen klassische Kompendium Mohns, welches sich jedoch betreffs des zur Verarbeitung gelangten Stoffes eine ziemlich strenge Beschränkung auferlegt hat und aus diesen selbst gezogenen Grenzen auch bei neuen Auflagen nicht heraustreten zu wollen scheint. Ein nicht zu umfangreiches Buch jedoch, welches zunächst die Wünsche des Studierenden ins Auge fasst und den meteorologischen Tagesfragen in weiterem Rahmen gerecht zu werden sucht, zugleich auch nach Möglichkeit die massenhaft anschwellende schriftstellerische Arbeit der allerneuesten Zeit verwertet, erschien an sich als existenzberechtigt, und ein solches ist es, welches der Verfaseer hiemit dem Publikum übergibt.

Als Leser denkt sich derselbe in erster Linie Studierende der Naturwissenschaften und der Erdkunde, doch wünscht er auch Lehrern an höheren Bildungsanstalten entgegenzukommen, welche ihre früher erwor-

benen meteorologischen Kenntnisse wieder auffrischen möchten, und überhaupt soll der Leserkreis keineswegs mit der Fachwelt im engeren Sinne sich decken. Aus diesem Grunde ist von der Einfügung mathematischer Betrachtungen und Formeln nahezu absolut abstand genommen worden. Dass hiedurch dem Autor manche Schwierigkeit erwuchs, erkennt man unschwer; ist es doch in der Mehrzahl der Fälle ganz unvergleichlich leichter, aus dem ein Naturgesetz wiedergebenden analytischen Ausdrucke die Konsequenzen dieses Gesetzes einfach herauszulesen, als dieses letztere selbst durch eine wirklich sachgemässe Paraphrase zu erläutern. Allein, wie die Dinge heute noch gelagert sind, musste diese Zurückhaltung im Interesse der Gemeinfasslichkeit unbedingt platz greifen. Trotzdem ist versucht worden, wenigstens die Resultate der modernen atmosphaerologischen Forschung ihrem Hauptinhalte nach zu kennzeichnen und die Wege anzudeuten, auf denen man zu den wichtigsten Thatsachen gelangt ist. Der bereits erwähnte Umstand, dass die Ausgabe ursprünglich in vier getrennten Einzelheften erfolgen sollte, hat einige Wiederholungen verursacht, deren Beseitigung nach Wegfall der dafür massgebenden Ursache nicht mehr wohl thunlich war, die aber auch wohl der Lektüre kaum eine ernsthafte Störung bereiten dürften.

Die Titelworte „mit besonderer Berücksichtigung geographischer Fragen" sind vom Verfasser mit gutem Bedachte hinzugefügt worden. Wer heute wissenschaftliche Geographie treiben will, muss zur Physik des Luftkreises ganz ebenso enge Fühlung halten wie zur Geologie, und dem Verfasser wurde schon durch seinen Beruf die Pflicht nahe gelegt, nach dieser Seite hin es an Anregungen nicht fehlen zu lassen. Dieser Erwägung gemäss wurden manche Abschnitte, die sonst wenig hervorzutreten pflegen, eingehender abgehandelt: wir rechnen dahin die Ausführungen über das Evaporimeter als das Zukunfts-Instrument der Klimakunde, über die örtlichen Bedingungen der Fallwinde, über die Fortpflanzung der Gewitter im Terrain, über die aequiglazialen Kurven, über die phaenologischen Kriterien, über die Tropen-Hygieine, über die klimatische Bedeutung von Schneefläche, Wald und Gebirge, über die Beziehungen gewisser ungewöhnlicher Lichterscheinungen zu den Zuckungen der Erdrinde und manches andere. Auch sonst wurde nicht versäumt, dem geographischen Momente, welches sich ja stets als ein überaus einflussreiches erweist, die entsprechende Beachtung zu schenken.

Insoferne die vorliegende Schrift hauptsächlich an Studierende sich richtet, durfte ja musste das geschichtlich-litterarische Element eine bevorzugte Stellung erhalten, während bei M o h n dasselbe nahezu vollständig zurücktritt. Darüber, ob in der Auswahl der Hinweisungen und Zitate stets die richtige Mittelstrasse zwischen zuviel und zuwenig eingehalten

wurde, hat das Publikum zu urteilen, wobei freilich nicht zu vergessen ist, dass durch das vonvornherein gegebene Ausmass des verfügbaren Raumes gewisse Schranken hergestellt waren. Leider konnte, da das Manuskript grösstenteils bereits vor Jahresfrist abgeschlossen war, so manche litterarische Leistung der allerjüngsten Zeit nicht mehr Berücksichtigung finden, allein bei der Raschheit, welche die Produktion gerade auf diesem Arbeitsgebiete neuerdings bethätigt, wird ein Buch, dessen Fertigstellung doch immer zum mindesten Monate erfordert, schwerlich je ganz auf der Höhe der Zeit stehen können. So fehlte dem Autor noch die Kenntnis des so merkwürdigen Universalregistrators von Cerebotani. So konnte leider auf die neueren theoretischen Untersuchungen nicht eingegangen werden, die man Oberbeck und H. v. Helmholtz verdankt und die zumal betreffs der Bezugnahme auf die Reibungswiderstände eine neue Perspektive eröffnen, nur gestreift vermochten die in vieler Beziehung abweichenden Anschauungen zu werden, welche man sich über die wässrigen Ausscheidungen der Atmosphäre zu bilden beginnt und welche, wie eine Monographie von Schoenrock darthut, neue Begriffsbestimmungen nötig machen, und ebenso fehlt noch am betreffenden Orte (S. 97) die Nachricht von der inzwischen gelungenen Nachweisung eines wirklichen Föns am Südabhange der Zentralalpen durch Hoeffinger in Gries. Das optische Kapitel würde manche Bereicherung erfahren haben, wenn bei seiner Niederschrift Kiesslings „Untersuchungen über Dämmerungserscheinungen" (Hamburg-Leipzig 1888) bereits vorgelegen hätten.

Was die Figuren anlangt, so sind sie zum Teile vom Verfasser selbst entworfen, grossenteils aber bekannten Werken entnommen worden, nämlich den vier oben genannten Hauptwerken, der „kosm. Physik" von J. Müller und der „Physik im Dienste des praktischen Lebens" von Krebs, sowie den Zirkularen hervorragender Firmen im Instrumentenfache (Fuess, Ney u. s. w.) Herrn Mechaniker Sendtner dahier ist der Verfasser für die Überlassung einer Zeichnung seines neuen automatischen Metallthermometers zu Dank verpflichtet.

Möge das kleine Buch der Verbreitung meteorologischer Kenntnisse sich förderlich erweisen!

München, im November 1888.

Dr. Siegmund Günther.

Berichtigungen.

S. 24, Z. 25 v. o. hat der hier beginnende Satz folgendermassen zu lauten: a, a_1, a_2, b, c, d und k in Fig. 4 repräsentieren die verschiedenen Zirrusformen; e entspricht der Kumulus-, f der Stratus-, g der Kumulostratus-, h der Stratokumulus-Wolke, i dem Nimbus.

S. 79, Z. 16 v. u. l. Theophrast statt Teophrast.

S. 82, Fig. 35 fehlen an den Fusspunkten der Lote, von unten an gerechnet, die Buchstaben b_1, b_2, b_3, b.

S. 247, Fig. 55 l. allenthalben q statt 9.

S. 281, Z. 23 v. u. l. 64 statt 63.

Inhaltsverzeichnis.

S. 1. Aufgabe und geschichtliche Entwicklung der Meteorologie.

S. 10. I. Hauptstück. Allgemeine Eigenschaften der Atmosphaere und deren Beobachtung.

Gestalt des Luftsphaeroides . 10
Bestimmung der Höhe des Luftkreises 11
Chemische Beschaffenheit der Luft 13
Staubbeimischung 16
Höhenrauch 17
Aërostatische Grundgesetze; Mariotte; Gay-Lussac . . . 18
Der atmosphaerische Wasserdampf 19
Wässrige Ausscheidungen . . 20
Wolkenbildung 21
Bestimmung der Höhe der Wolken 22
Klassifikation der Wolken . . 23
Schnee und Eis 26
Graupel- und Hagelfall . . . 29
Akustische Erscheinungen . . 30
Thermometer 31
Thermometrographen 35
Submarine Thermometrie . . 37
Thermometrische Selbstregistratoren 38
Bodenthermometer 41
Barometer 42
Aneroide 46
Registrierbarometer 48
Barometrische und thermometrische Höhenmessung . . . 49
Hygro- und Psychrometer . . 54
Regenmesser 56
Verdunstungsmesser 58
Anemometer 62
Ozonometrie 67
Strahlungsmesser 68
Beobachtungstermine 70
Berechnung der Beobachtungen 71
Graphische Mittel; Isoplethen; Rosen 72

S. 77. II. Hauptstück. Die Lehre von den Bewegungen in der Atmosphaere.

Methodisches 77
Entstehung von Bewegungen durch Wärmedifferenzen . . 78
Land- und Seewinde; Monsuns 79
Isobaren 81
Berg- und Thalwinde 82
Die Trägheitsbahn 84
Gesetze von Buys-Ballot und Stevenson 85
Zyklonal- und Antizyklonalbewegung 87
Gradient 91
Entstehung und Charakter der Fallwinde 92
Bora-Typus 93
Fön-Typus 94
Atmosphaerische Elektrizität; Messungsmethoden u. Theorien 98
Blitz und Blitzableiter . . . 105
Donner 109
Gewitter-Physiographie . . . 110
Wärme- und Wirbelgewitter . 112
Theorie des Hagels 113
Langsame elektrische Ausgleichungen 115
Kosmische Meteorologie . . . 117
Die meteorologische Bedeutung des Mondes 118
Die meteorologische Bedeutung der Sonnenflecke 120
Passatwinde 125
Das einheitliche Zirkulationssystem 129
Wettersäulen 134
Wirbelwinde 135
Fortpflanzung der Luftwirbel . 138
Zugstrassen und Teilminima . 141
Mechanik der Gewitterbewegung 144

S. 149. III. Hauptstück. Allgemeine Klimatologie.

Klima und Neigungswinkel . 149
Bestimmende klimatische Faktoren 151
Temperaturverhältnisse . . . 152
Atmosphaerische Feuchtigkeit . 157
Bewölkung 159
Winde 160
Verdunstung 161
Zusammensetzung der Luft . . 162
Luftelektrizität als klimatisches Element 163
Pflanzen-Phaenologie 163
Solares Klima 168
Land- und Seeklima 174
Tiefen- und Höhenklima . . . 183
Der Einfluss ausgedehnter Schneeflächen auf das Klima 190
Der Einfluss der Vegetation, zumal des Waldes, auf das Klima 191
Säkuläre Klimaschwankungen . 194

S. 199. IV. Hauptstück. Spezielle klimatische Beschreibung der Erdoberfläche.

Klimatische Eigenschaften der Hauptzonen 198
Allgemeine Charakteristik des Tropenklimas 199
Detailklimatographie der Tropenzone 206
Allgemeine Charakteristik des Klimas der gemässigten Zonen 216
Detailklimatographie der südlichen gemässigten Zone . . 217
Detailklimatographie der nördlichen gemässigten Zone . . 222
Allgemeine Charakteristik des Klimas der Polarzonen . . 233
Detailklimatographie der nördlichen kalten Zone 235

S. 237. Erster Anhang. Praktische Witterungskunde.

Wesen und Entwicklungsgeschichte der Prognostik . . 237
Meteorologische Kongresse . . 243
Gipfelstationen 244
Maritime Meteorologie . . . 246
Manoeuvrierregeln bei Drehstürmen 248
Sturmsignale und Küstenmeteorologie 251
Witterungsprognose im engeren Sinne 254
Praktischer Dienst der Wettertelegraphie 258
Prognose für längere Zeit; meteorologische Aktionszentren. 261
Prognosenprüfung 263
Agrarmeteorologie 264
Vorausbestimmung der Nachtfröste 266

S. 286. Zweiter Anhang. Meteorologische Optik.

Konsequenzen der Luftperspektive 268
Astronomische und terrestrische Strahlenbrechung 269
Funkeln und Strahlenschiessen der Sterne 272
Diaphanität der Atmosphaere . 274
Lichtreflexion und Tageshelle . 275
Färbungen des Himmels . . . 276
Morgen- und Abendröte . . . 277
Wasserziehen der Sonne . . . 277
Atmosphaerische Linien im solaren Spektrum 278
Formalistische Theorie der Dämmerung 279
Physikalische Theorie der Dämmerung 281
Nebelglühen 282
Der Bishopsche Ring 285
Irisierende Wolken 286
Kimmung und Luftspiegelung. 287
Anomale Refraktion 288
Regenbogen 289
Ungewöhnliche Regenbogen . 294
Nebelbilder 296

Namen-Index. S. 297.

Berichtigungen. S. VI.

BAYERISCHE STAATS-BIBLIOTHEK MUENCHEN

Aufgabe und geschichtliche Entwicklung der Meteorologie.

Das Wort Meteorologie (μετεωρολογία) bedeutet ursprünglich etwas ganz anderes und zwar bei weitem allgemeineres, als dasjenige, was der heutige Sprachgebrauch darunter versteht. Aristoteles, dieser grosse Naturforscher des Altertums, verband mit dem betreffenden Worte den Begriff einer umfassenden Lehre von den Naturerscheinungen überhaupt, und es wird deshalb in seinem gleichnamigen Buche, welches für das gesamte Altertum und Mittelalter die Richtschnur abgab*), ebensowohl von den Himmelskörpern und von den Wellen des Meeres als von den Phänomenen im Luftkreise gehandelt. In der That ist das Werk des Stagiriten in seiner Art so vollendet, so durchaus aus Einem Gusse, dass wir uns nicht wundern dürfen, wenn so lange Zeit hindurch an den darin enthaltenen Lehrsätzen wie an ewigen Wahrheiten festgehalten wurde. Ausser Aristoteles können von den Griechen nur allenfalls noch Hippokrates, der berühmte Arzt, und Theophrast als Männer namhaft gemacht werden, die sich durch einen freien und scharfen Blick für das Wechselspiel der atmosphärischen Bewegungen auszeichneten; ersterer verfasste ein für jene Zeit hochachtbares Lehrbuch der Hygieine — mit diesem Kunstworte der Neuzeit müssen wir die feinsinnige Abhandlung von der Bedeutung des Wassers, der Luft und der Ortsbeschaffenheit für das Wohlbefinden des Menschen belegen, — und der zweitgenannte hinterliess uns Bemerkungen über die charakteristischen Eigentümlichkeiten gewisser griechischer Lokalwinde, an welche die Forschung der Gegenwart unmittelbar wieder anzuknüpfen in der Lage gewesen ist.

Den Römern, deren Naturwissen überhaupt immer ein ziemlich beschränktes war, fehlte es an jedem Interesse zum tieferen Eindringen in die meteorologische Wissenschaft; vielleicht den einzigen Seneca ausgenommen, der wenigstens allenthalben ein reges Streben zu selbständiger Auffassung bekundet, begnügten sich die italischen Gelehrten mit sklavischer Reproduktion dessen, was sie aus ihrem Aristoteles gelernt hatten. Dafür aber pflegten sie sehr eifrig die praktische Seite der Lehre von Wind und Wetter, indem sie die Geschäfte des Landbaues

*) Noch zu Anfang des XVI. Jahrhunderts schlug der Nürnberger Schulrektor Cochlaeus vor, die aristotelische Meteorologie als naturwissenschaftliches Elementarbuch in die Gelehrtenschule einzuführen, und diese Idee fand gerade bei den Tüchtigsten vielen Beifall.

durch Witterungsprognosen zu fördern sich bemühten. Selbstverständlich konnte auch hier nur von rein äusserlichen und empirischen Regeln die Rede sein; man hielt sich an einige Angaben der griechischen Dichter Hesiod und Aratos, welche den Auf- und Untergang gewisser Gestirne als den richtigen Termin für die Vornahme gewisser ökonomischer Verrichtungen bezeichnet hatten, und bildete das damit in seinen Grundzügen schon feststehende astrometeorologische System immer mehr aus. Cato, Columella, der Dichter Vergilius, der Naturhistoriker Plinius und viele andere nahmen an dieser Arbeit teil, die immerhin des mangelnden wissenschaftlichen Untergrundes ungeachtet in einem so günstigen und konstanten Klima, wie es dasjenige Italiens ist, einen praktischen Nutzen schaffen mochte.

Das Darniederliegen aller Wissenschaften im Mittelalter ist eine viel zu allgemein bekannte Thatsache, als dass an dieser Stelle auf die Ursache dieser betrübenden Erscheinung näher eingegangen zu werden brauchte. Von den guten griechischen Quellen wusste man fast nichts, den Aristoteles kannte man — wenn überhaupt — nur in sehr schlechten lateinischen Übersetzungen, und bis zum XII. Jahrhundert behalf man sich bei „kosmographischen" Studien, welche sich auch auf die Meteorologie zu erstrecken hatten, mit den unvollkommenen Kompendien der spätlateinischen Schriftsteller, vor allem des Bischofs Isidor von Sevilla. Erst die scholastische Periode, deren Vertreter häufig eine ungerechte Kritik über sich ergehen lassen müssen, brachte auch auf unserem Gebiete Besserung: Albertus Magnus schilderte mit richtigem Verständnis die Beziehungen zwischen dem Erwärmungszustande eines Erdortes einerseits und der geographischen Breite sowie der Erhebung über den Meeresspiegel andererseits, und Giraldus Cambrensis erörterte gleichfalls zutreffend die Abhängigkeit der Regenhäufigkeit von der Windrichtung. Energischere Fortschritte waren jedoch noch fortwährend durch den in den weitesten Kreisen unerschüttert bestehenden Glauben verhindert, dass die atmosphärischen Ereignisse in erster Linie doch immer durch den Lauf der Sterne bedingt seien, dass man also die Meteorologie eigentlich als einen besonderen Zweig der Astronomie anzusehen habe. Selbst ein Kepler, der durch seine geistvolle und witzige Bekämpfung der astrologischen Phantasmen die Freiheit seines Geistes genugsam dokumentiert hat, vermochte es nicht über sich, mit dem Dogma zu brechen, dass je nach den verschiedenen »Aspekten«, unter welchen sich verschiedene Planeten einem Beobachter auf der Erde darstellten, der Zustand der Witterung ebenfalls ein verschiedener sein müsse. Weit klarer dachte hierüber Tycho Brahe, denn sein auf Uranienburg geführtes meteorologisches Tagebuch hält sich von den Schrullen der Astrologen gänzlich ferne, und es wird einfach der typische Charakter des Wetters für jeden Tag eines fast zwei Jahrzehnte umfassenden Zeitraums mit nüchternen Worten gekennzeichnet*). Brahe hat, wie in der astronomischen so auch

*) Von diesem merkwürdigen Dokumente hingebenden Beobachtungseifers kann jetzt jedermann Einsicht nehmen, nachdem es die k. dänische Akademie der Wissenschaften unter dem Titel »Tyge Brahes Meteorologiske Dagbog, holdt paa Uraniborg for aarene 1582—1597« (Kopenhagen 1876) durch den Druck bekanntgemacht hat. La Cour hat dasselbe einer

in der meteorologischen Beobachtungskunst seinen reformatorischen Geist bethätigt und derselben die Wege gewiesen, welche betreten werden mussten, um aus dem ersten Kindesalter der Wissenschaft herauszukommen.

Freilich fanden sich fürs Erste nur sehr wenige, die auf diesen Weg zu treten geneigt gewesen wären. Vielmehr beherrschte noch fast zwei Jahrhunderte lang die Astrometeorologie das Terrain, und mehr und mehr schien die richtige Ansicht, dass irdischen Vorkommnissen zunächst doch auf der Erde selbst nachgespürt werden müsse, in Vergessenheit zu geraten. Zumal das systematische Werk, welches im Jahre 1666 der Schotte Cook herausgab, übte wegen der scheinbaren Strenge, welche die darin enthaltenen Lehrsätze und Regeln auszuzeichnen schien, einen grossen und nichts weniger denn günstigen Einfluss auf die Gemüter der Zeitgenossen aus. G. E. Stahl, ein als Begründer der phlogistischen Chemie seinerzeit mit Recht gefeierter Gelehrter, besorgte eine deutsche Ausgabe des englischen Werkes, und diese war nun auf lange hinaus die Quelle, aus welcher die handwerksmässigen Vorausverkünder des Wetters, die Verfertiger der »hundertjährigen« Kalender und ähnliche dunkle Ehrenmänner ihre geistige Nahrung bezogen.*) Selbst die besten Männer des XVIII. Jahrhunderts, ein Toaldo und Chiminello, waren noch im Banne solcher Anschauungen befangen, mochten dieselben auch in ihren Schriften in einer mehr wissenschaftlich verfeinerten Form zutage treten, als in denjenigen ihrer Vorgänger, und nicht einmal die Begründung der Mannheimer meteorologischen Sozietät, welche doch die exakte Forschung zu pflegen berufen war, markiert einen recht erkennbaren Fortschritt. Wie wäre es sonst möglich gewesen, dass diese Gesellschaft bei ihrer ersten Preisausschreibung die »grosse« Medaille einem gewissen Eberhard Schroeter verlieh, der einen »meteorologisch-astronomischen Aspektenkalender« eingereicht hatte und aus diesem die periodischen Veränderungen im Stande sowohl des Barometers als auch des Thermometers herzuleiten sich anheischig machte? Als eine erhebliche Besserung muss man es schon betrachten, wenn einzelne Gelehrte nicht mehr von den ganz undefinierbaren Einwirkungen der Fixsterne und Planeten, sondern von bestimmteren Kraftäusserungen — seien dieselben nun magnetisch-elektrischer Natur oder lediglich durch die Newton'sche

gründlichen Bearbeitung unterzogen, aus welcher erhellt, dass das Klima und der Allgemeincharakter der Witterung für jene Gegend seit dreihundert Jahren keine irgend auffällige Beeinträchtigung erfahren haben.

*) Die deutsche Bearbeitung kam 1716 zu Halle heraus: »Georg Ernest Stahls Einleitung zu der neuen Meteoroscopie, oder Witterungs-Deutung, nach William Cocks Grund-Reguln.« Als prägnantes Beispiel sei das folgende (a. a. O., S. 313) angeführt: »D. 23. Apr. Dienstags ist es anfänglich sehr nebelicht, nachmals klar, und warm bey kühlen Winde, Nachmittags mehrentheils trübe Wetter gewesen, und hat es dabey etwas geregnet. Ursache △ ♃ ☿ ein warmer Aspect nach der Reg. II. hat die Wärme, und das untermengete schöne Wetter, kühle und trübe Lufft, imgleichen den Regen der Transitus gegeben: Massen ♀ Kälte und Feuchtigkeit mit sich bringet.« Man kann sich heutzutage nur schwer eine Vorstellung davon machen, dass mit einer solchen Erklärung hochgebildete Männer ihr Kausalitätsbedürfnis befriedigt gefühlt haben sollen!

Gravitation veranlasst — der Sonne und des Mondes sprechen, denn damit war die Untersuchung wenigstens auf ein der Beobachtung und der rechnerischen Analyse zugängliches Feld übergeleitet, und was nach dieser Richtung hin Segner, Stark, Ellinger u. a. geleistet haben, darf in keiner Weise mit den inhaltsleeren Spekulationen der meteorologischen Sterndeuter auf eine Stufe gestellt werden.

Immerhin wäre es unbillig, die grossen Verdienste gering zu achten, welche sich die unter den Auspizien des Kurfürsten Karl Theodor 1780 ins Leben gerufene »Societas meteorologica Palatina« sowohl um die eigentliche Wissenschaft als auch ganz besonders um die Methode und Technik der Witterungsbeobachtung erworben hat.*) Ihr Vorstand, der Abt Hemmer, war bereits zu korrekten Ansichten über die Notwendigkeit des Zusammenwirkens Vieler zu einem gemeinsamen Zwecke durchgedrungen**); er drang darauf, dass alle Messungen atmosphärischer Veränderungen unter einander vergleichbar seien, und er suchte sich diesem Ziele durch zwei sehr vernünftige Massnahmen zu nähern. Erstens nämlich erhielt jeder, der zur Mitarbeit an den Bestrebungen der Korporation berufen wurde, Instrumente, die in Mannheim unter den Augen des Direktors nach durchaus einheitlichen Grundsätzen angefertigt waren, wobei der Kurfürst die Kosten trug, und zweitens sollten die Beobachtungen allerorts genau zur nämlichen Tageszeit gemacht und in einer für ihre wissenschaftliche Verwertung geeigneten Form veröffentlicht werden. So erschienen denn auch in den Jahren 1781 bis 1792 zwölf inhaltsreiche Quartbände, welche noch heute als ein wertvolles Repertorium meteorologischen Materiales gelten und ihre Bestimmung, den Fachmännern die nötige Erfahrungsgrundlage für ihre theoretischen Studien zu liefern, in reichstem Masse erfüllt haben. Hieraus schöpfte A. v. Humboldt seine Daten für die von ihm geschaffene vergleichende Klimatologie, Wahlenberg für seine neue Darstellung der Pflanzengeographie, Brandes für jene dynamischen Untersuchungen, über welche wir gleich nachher zu berichten haben werden. Die Folgezeit aber konnte es nur bedauern, dass der Tod Hemmers, die politischen Verwicklungen der Revolutionszeit und wohl auch gewisse Einflüsse, welche den leicht bestimmbaren Fürsten von dieser segensreichen Verwendung seiner Geldmittel abdrängten, die weitere Entfaltung der Vereinsthätigkeit verhinderten und sogar das Eingehen der Sozietät veranlassten. Gleichwohl war durch ihr Auftreten nun einmal das Eis gebrochen, und da zudem in jener Zeit alle physikalischen Disziplinen

*) Vgl. hiezu die Programmschrift von Traumüller: Die Mannheimer meteorologische Gesellschaft (1780—1795); ein Beitrag zur Geschichte der Meteorologie (Leipzig 1885).

**) Ein dunkles Gefühl von dieser Notwendigkeit hatte sich natürlich auch schon vorher bei Einzelnen geltend gemacht; hundert Jahre früher hatte bereits der Altdorfer Physiker Sturm demselben Gedanken hinsichtlich der Ausbreitung der erdmagnetischen Forschungsarbeit Ausdruck verliehen. Auch Hamberger in Jena stellte im Jahre 1701 die Forderung auf, die Gelehrten der verschiedenen Länder sollten einander hilfreiche Hand bieten, um den Gesetzen der Oszillationen von Luftdruck und Temperatur auf die Spur zu kommen. Allein in einem so zerrissenen Lande, wie Deutschland, war an eine Ausführung derartiger Pläne nicht zu denken.

im raschesten Aufschwung begriffen waren, so wurde ein Rückfall in die Schwachheiten einer vergangenen Epoche zwar wohl noch Einzelnen, nicht mehr jedoch der Wissenschaft als solcher möglich. Wie ganz anders der Standpunkt sich gestaltet hatte, von dem aus vorurteilsfreie Männer die Aufgabe und die bisherigen Errungenschaften der Meteorologie betrachteten, das zeigt besonders deutlich eine in jenen Tagen ans Licht getretene, noch heute lesenswerte Monographie des Wiener Jesuiten Pilgram.*) Auch die Sitte, mit dem erwähnten Kunstworte nicht mehr im aristotelischen Sinne die Phänomenologie der Gesamtnatur sondern eben ganz konkret die Lehre von den atmosphärischen Veränderungen und von den dieselben bedingenden Gesetzen zu verstehen, ist in den achtziger Jahren des XVIII. Jahrhunderts zur herrschenden geworden.**)

Das heranbrechende neunzehnte Jahrhundert sollte die vorhandenen Keime zu raschem Aufblühen bringen. Insbesondere sind es unsere beiden Landsleute Leopold v. Buch und Alexander v. Humboldt, welche durch ihre im Dienste der physischen Erdkunde unternommenen Reisen, für welche sie sich die meteorologischen Beobachtungswerkzeuge zu unzertrennlichen Begleitern ausersehen hatten, dem Streben ihrer Zeit einen neuen und überaus mächtigen Anstoss erteilen sollten. Wie bei der geologischen Forschung erst die engherzige Rücksichtnahme auf die kleinen Verhältnisse des engeren Vaterlandes abgestreift sein musste, so bedurfte es auch in der Lehre von Wind und Wetter erst gründlicher Kenntnis der Tropen, ehe man eine Vorstellung von der das verwickelte Spiel der atmosphärischen Faktoren regelnden Gesetzmässigkeit gewinnen konnte. Was man bisher von solcher erkundet hatte, das dankte man den in niedrigen Breiten gesammelten Erfahrungen. Gestützt auf diese hatten bereits im Laufe des XVII. und XVIII. Jahrhunderts Francis Bacon und Hadley eine freilich noch unvollkommene Theorie der sogenannten Passatwinde aufgestellt, welche dann der grosse deutsche Philosoph Kant***) fester begründete und auf die über dem indischen Meere wehenden Wechselwinde, die sogenannten Monsune, ausdehnte. Ein Schweizer, Horace Bénedicte de Saussure, lieferte eine wertvolle Ergänzung zu jener Theorie, indem er auf die Bedeutung des namentlich von Kant völlig verkannten aufsteigenden Luftstromes (»courant ascendant«) aufmerksam machte. Allein alle diese Wahrnehmungen und Erwägungen waren noch isolierte, unter sich in keinem rechten Zusammenhange stehende Ergebnisse der Einzel-

* Pilgram, Untersuchungen über das Wahrscheinliche der Wetterkunde durch vieljährige Beobachtungen, Wien 1788.

**) In neuester Art haben wir durch Hertz auch von einem geschickten Plane des Karlsruher Physikers Boeckmann (1741—1802) erfahren, synoptische Witterungskärtchen je für einen Monat herzustellen.

***) Immanuel Kant, der Verfasser der von der Naturwissenschaft mit jedem Tage mehr als Basis ihrer Existenz anerkannten »Kritik der reinen Vernunft«, war auch der erste, der die physikalische Geographie zum akademischen Lehrfache erhob. Er verdient es, dass man gerade bei den gegenwärtig so eifrig erörterten Fragen über die methodische Ausgestaltung der Erdkunde seiner mit Ehren sich erinnere, und es war nur eine Ehrenpflicht, deren sich P. Lehmann's Vortrag vor den Mitgliedern des sechsten (Dresdener) Geographentages entledigte.

forschung, die erst dann zu höherer Bedeutung gelangten, als ihnen der rechte Platz innerhalb des Systemes angewiesen war. Und dieses entstand eben unter den Händen der seit ihrer Studienzeit auf der Freiberger Bergakademie enge verbunden gebliebenen Freunde Buch und Humboldt. Es kann natürlich hier nicht unsere Sache sein, die Stellung beider Männer in der Geschichte der Wissenschaft nach deren vollem Verdienst zu würdigen, denn das würde sich mit dem Zwecke dieses Abrisses nicht vertragen, aber zum mindesten dessen wir gedenken, dass durch die von ihnen in die Meteorologie hineingetragenen graphischen Darstellungsweisen eine neue Aera in der Veranschaulichung der von dieser Disziplin erzielten Resultate angebahnt worden ist. L. v. Buch schuf die barischen und thermischen »Windrosen«, mit denen wir uns weiter unten noch näher zu beschäftigen haben werden, und von denen wir hier blos das Eine anführen wollen, dass sie uns in den Stand setzen, uns mit einem einzigen Blicke ein klares Bild von dem Witterungstypus eines bestimmten Ortes zu machen. Und was durch Buchs Zeichnung für eine beliebige Stelle der Erde, das wurde durch Humboldts Methode für die ganze Erdoberfläche geleistet. »In dieser Beziehung«, so lässt sich dessen Biographie durch den Mund Doves vernehmen, »bleibt es nun Humboldts unbestreitbares Verdienst, dass er zuerst den Unterschied des solaren und realen Klimas zu durchgreifender Anerkennung brachte, und zwar dadurch, dass er die von Halley für den Magnetismus der Erde angewandte Darstellungsmethode, das Gleiche durch Linien zu verbinden, auf die Verbreitung der Wärme auf der Oberfläche der Erde anwendete und nachwies, dass die Isothermen unter bedeutenden Winkeln die Breitenkreise schneiden, welche für das solare Klima eben die Linien gleicher Wärme sind«.*) Und damit leitete denn Humboldt eine Periode in der Entwicklung unseres Wissenszweiges ein, welche man füglich die statistiche nennen könnte, wie denn auch in der That verschiedene Staaten — bis vor kurzem auch Preussen — die Beschaffung der für erfolgreiche meteorologische Thätigkeit notwendigen Zahlenreihen ihren statistischen Instituten zur Pflicht machten.

Um nämlich, mit Schiller zu reden, »den ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht« zu suchen, entschloss man sich, für möglichst viele Orte möglichst zahlreiche Beobachtungen der Wärme, des Luftdruckes, der Feuchtigkeit u. s. w. ins Werk zu setzen, aus den so erhaltenen Daten alsdann Mittelwerte des Tages, des Monates, des Jahres u. s. w. herzuleiten und endlich zuzusehen, inwieweit in solchen Mitteln durchgreifende Gesetzmässigkeit zur Geltung käme. Was auf diesem Wege zu leisten möglich war, das hat der Altmeister der deutschen Witterungskunde, der unermüdliche Dove, auch wirklich geleistet, und namentlich nach der klimatologischen Seite hin wird sein Andenken stets in Ehren bleiben, mag man es auch im Besitze der geläuterten Anschauungen der Jetztzeit mit Fug tadeln, dass Dove viel zu starr an den Anschauungen festhielt, welche er sich auf Grund einer doch nur

*) Der englische Astronom Halley hatte als einer der ersten alle jene Planetenstellen durch einen Kurvenzug verbunden, für welche die magnetische Misweisung die nämliche war.

lokalen oder bestenfalls regionalen Auffassung und Erfahrung gebildet hatte, und dass er mit einer gewissen Heftigkeit Denen entgegentrat, welche selbständige theoretische Ansichten über die grossen Bewegungen innerhalb unserer Atmosphäre laut werden liessen.*) Nach Dove war jeder in der gemässigten Zone beobachtete Witterungszustand das Ergebnis oder der Ausgleich eines Kampfes zwischen zwei einander entgegengesetzten Luftströmungen, eines »Aequatorialstromes« und eines »Polarstromes«, und zwar erfolgte dieser Ausgleich der Regel nach in der Weise, dass auf der nördlichen Halbkugel der Wind im Sinne des Uhrzeigers, auf der südlichen im entgegengesetzten Sinne umspringen musste. Hiemit ist das bekannte Dove'sche Winddrehungsgesetz ausgesprochen, von welchem allerdings so manche Ausnahme konstatiert werden musste, welches aber doch besonders für Deutschland — aus weiter unten zu erörternden Ursachen — eine gewisse Giltigkeit beanspruchen kann und mehrere Jahrzehnte lang das fast einzige Hilfsmittel abgab für alle Versuche, das Wetter im voraus zu bestimmen. Während aus der vor — Dove'schen Periode das grosse Handbuch von Kämtz**) als dasjenige anzusehen ist, welches das vorhandene meteorologische Wissen in vollkommenster Form darstellte, wird der Standpunkt des nächsten Zeitraumes, welchem eben Doves unleugbare Genialität ihren Stempel aufdrückte, durch das Schmid'sche Werk***) zur Geltung gebracht, ein noch heute unschätzbares Repertorium, welches sich durch die Objektivität der Darstellung und durch die Fülle des darin aufgespeicherten Wissensstoffes auch in einer Zeit Anerkennung zu sichern imstande war, welche mit den Fundamentaltheorien des Buches endgiltig gebrochen hatte. Dove selbst hat seine Grundsätze nur in zahlreichen Monographien niedergelegt, zur Abfassung eines systematischen Lehrbuches sich jedoch niemals verstehen können. —

In den fünfziger und sechziger Jahren begann der Umschwung sich anzubahnen, welcher, um kurz zu sprechen, die statistische Meteorologie zwar keineswegs beseitigte, aber doch auf ihren wahren Wert zurückführte und ihr eine synoptische Meteorologie für die prognostische Praxis, eine dynamische Meteorologie für die Ergründung der atmosphärologischen Bewegungsgesetze zur Seite stellte. Die ersten Anfänge dieser Neuerung lassen sich in freilich sehr bescheidener Form bis fast zum Beginne dieses Jahrhunderts hinauf verfolgen, und zwar war derjenige, dem bei entschiedenerem Vorgehen das Verdienst des Bahnbrechers hätte zufallen müssen, ein Deutscher, während allerdings die Reformarbeit selber sich nicht auf dem Boden unseres Vaterlandes

*) An Belegen für diese Unduldsamkeit fehlt es nicht, es möge hier aber nur an die spitze Polemik erinnert werden, in welcher sich Dove gegen den verdienten Berliner Physiker Vettin erging, als derselbe, noch dazu in höchst bescheidener und nichts weniger denn aggressiver Weise für die Ergründung der meteorologischen Gesetze mit Hilfe von Laboratoriumsexperimenten Propaganda machte. Näheres hierüber enthalten die Bände 100 und 102 von Poggendorffs »Annalen der Physik und Chemie«. Für jetzt nur so viel, dass die Nachwelt sich keineswegs auf Doves Seite gestellt hat.

**) Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie, Halle 1831—36 (3 Bände); Vorlesungen über Meteorologie, ibid. 1840.

***) E. Schmid, Lehrbuch der Meteorologie, Leipzig 1861.

vollzog und erst allmählig auch auf diesem sich Eingang zu verschaffen vermochte. Wie v. Bezold unlängst erst bei der Münchener Versammlung der deutschen meteorologischen Gesellschaft hervorhob, war es dem damaligen Breslauer Professor Brandes (1777—1834) beschieden, richtige Gedanken über den wahren Grund einer jeden Witterungsänderung auszusprechen*), allein da die Stätte für die Aufnahme solcher Neuerungen nur erst sehr ungenügend vorbereitet und Brandes selbst infolge seiner vielen Beschäftigungen — er hatte gleichzeitig alle Teile der Mathematik und Astronomie zu vertreten — nicht der zur intensiven Verfolgung einundderselben Idee geeignete Mann war, so musste letzteres einer günstigeren Epoche vorbehalten bleiben. Seit dreissig Jahren etwa ist dieselbe eingetreten. Wir würden es für verfehlt halten, in dieser blos vorbereitenden Einleitung näher auf die Entwicklung einzugehen, welche ja im späteren Verlaufe unserer Darstellung eine gründliche Behandlung erfahren muss; für jetzt genüge es zu sagen, dass die Namen des Engländers Galton, der Amerikaner Redfield, Espy und Ferrel und in allererster Linie des Holländers Buys-Ballot**) an der Spitze dieses neuen Zeitabschnittes stehen. Ihnen reihen sich weiterhin bedeutende Forscher aller Kulturnationen an. Wir nennen, ohne damit auch nur im entferntesten auf Vollständigkeit Anspruch machen zu wollen, den Norweger Mohn, dem wir das erste streng wissenschaftliche Kompendium der neuen Richtung***) verdanken, den Schweden Hildebrandsson, den Dänen Hoffmeyer, dessen Bestrebungen wir als neuen und autonomen Wissenszweig die maritime Meteorologie verdanken, die Franzosen Leverrier und Teisserenc de Bort, die Engländer Scott und Clement Ley, deren letzterer uns in den Wolken ein ebenso interessantes wie dankbares Object wissenschaftlicher Forschung kennen gelehrt hat, die Italiener Ragona, De Marchi und Ciro Ferrari, den Belgier Quetelet, welcher die Lehre vom Zusammenhang zwischen den Witterungszuständen und den Wachstumsstadien der Organismen, die sogenannte Phaenologie, auf eine feste Grundlage stellte, die Russen Wild†) und Woeikow, beide hochberühmt auf klimatologischem Gebiete, den Schweizer Billwiller und die Deutschen, resp. Österreicher Hann, Neumayer, Koeppen, van Bebber, v. Bezold, Sprung, Assmann, Hellmann, C. Lang, Supan, Vettin u. a. Mühelos liesse sich dieses Verzeichnis noch beträchtlich vermehren, doch ziehen wir es vor, der einzelnen um die Fortbildung der Wissenschaft verdienten Männer im Texte selbst da

*) Brandes, Beiträge zur Witterungskunde, Leipzig 1820; De repentinis variationibus in pressione atmosphaerae observatis, ibid. 1829.

**) Dieser Nestor der Witterungskunde (geb. am 20. Oktober 1817) gehört noch heute zu deren rührigsten Mitarbeitern. Ursprünglich Professor der Geologie und Mathematik, ging er später ganz zur Meteorologie über und leitet noch jetzt die königlich niederländische meteorologische Zentralanstalt.

***) Mohn, Grundzüge der Meteorologie, Berlin 1873; dritte Auflage, ibid. 1883.

†) H. Wild (geb. am 17. December 1833) ist geborner Schweizer und verwaltete seit 1862 die Professur der Experimentalphysik an der Universität Bern, von wo aus er als Direktor des Petersburger meteorologischen Observatoriums berufen wurde.

zu gedenken, wo von ihren Leistungen im einzelnen die Rede sein muss. Deutschem Fleisse verdanken wir das ausgezeichnete litterargeschichtliche Nachschlagewerk*), aus welchem man sich über jede von einem Landsmanne vollendete Arbeit, sie mag klein oder gross, mehr oder minder erheblich sein, Rats erholen kann.

Wenn die Meteorologie in neuester Zeit die grössten Fortschritte gemacht hat, so dankt sie dies vorwiegend ihrer Anerkennung als selbständige Disciplin, welche eben erst seit wenigen Jahren zum Durchbruche gelangt ist. Damit steht in Zusammenhang, dass auch auf deutschen Hochschulen dieser wichtige Wissenszweig nicht mehr nur nebenher von einem Lehrer der Mathematik, Physik, Astronomie und Geographie mit behandelt wird, sondern seine eigenen Vertreter zu besitzen beginnt. Allerdings geht es mit dieser Erweiterung des akademischen Personalstandes nicht allzu schnell und die Norweger (M o h n in Christiania) und Niederländer (B u y s - B a l l o t in Utrecht) haben uns Deutschen in diesem Punkte den Rang abgelaufen, allein der gute Anfang ward auch bei uns gemacht, als im Jahre 1884 v. B e z o l d zum ordentlichen Professor der Meteorologie — ohne jeden anderen Lehrauftrag — an der ersten Hochschule Deutschlands ernannt wurde. Privatdozenten der Meteorologie wirken oder wirkten an den Universitäten Berlin, Halle und München. Diesem didaktischen Aufschwung steht in hohem Grade fördernd zur Seite die Begründung meteorologischer Institute, unter denen die trefflich eingerichtete S e e w a r t e Hamburgs obenan steht. Es wird sich später Gelegenheit ergeben, die Einrichtung dieser sowohl dem Prognosendienste als auch der klimatologischen Erforschung des eigenen Landes, und teilweise auch noch umfassenderen Aufgaben gewidmeten Anstalten im einzelnen kennen zu lernen. Auch die Wirksamkeit der den einzelnen Staaten angehörigen Zentralanstalten wird dann besprochen werden.

Wir wenden uns jetzt der Aufgabe zu, das Wesen unserer Wissenschaft, so wie es sich aus der geschichtlichen Überlieferung heraus begreifen lässt, genauer zu bestimmen und zugleich die Unterabteilungen zu normieren, in welche bequemer Übersicht halber die Meteorologie zerfallen soll. Da dieselbe ausschliesslich von den Zuständen innerhalb des unsere Erdkugel umschliessenden Luftkreises handelt, so wird in einem ersten Hauptstück die Gestalt und physisch-chemische Beschaffenheit dieser Lufthülle zu betrachten sein, wobei zugleich von den Bewegungsvorgängen in ihrem Innern und von den zur exakteren Feststellung der einzelnen Prozesse eingerichteten Instrumenten die Rede sein muss. An zweiter Stelle folgt jener Wissenszweig, welchen man neuerdings dynamische Meteorologie nennt und vielleicht noch besser m e t e o r o l o g i s c h e S t a t i k und D y n a m i k nennen würde; hier werden die atmosphärischen Bewegungen auf die auch sonst anerkannten Gesetze der Naturlehre zurückgeführt. Der nächste Abschnitt enthält die a l l g e m e i n e K l i m a t o l o g i e, durch welche die generellen Thatsachen, die für die Erforschung des klimatischen Zustandes irgend einer Erd-

*) H e l l m a n n, Repertorium der deutschen Meteorologie (und der Lehre vom Erdmagnetismus), Leipzig 1883.

partie ins Gewicht fallen, ermittelt und systematisch geordnet werden, und von diesen Errungenschaften wird sodann Gebrauch gemacht im vierten und letzten Hauptstück, in der speziellen Klimatographie der Erdoberfläche. Der erste Anhang führt uns die praktische (prognostizierende) Meteorologie der Jetztzeit vor; ein zweiter Anhang, meteorologische Optik betitelt, macht uns mit den verschiedenen Lichtphänomenen in unserer Lufthülle bekannt, während wir die Schilderung der elektrischen Erscheinungen wohl am besten der zweiten Abteilung einverleiben.

Erstes Hauptstück.

Allgemeine Eigenschaften der Atmosphäre und deren Beobachtung.

Die Luft war den Alten ein Grundstoff oder Element, welcher in Form einer dünnen Hohlkugel sich um die beiden Sphären herumlegte, welche man sich als aus den beiden Elementen der Erde und des Wassers bestehend vorstellte. Jenseits der Luftsphäre begann diejenige des Feuers, und an diese wieder schloss sich die aus einem besonderen (fünften) Elementarstoffe zusammengesetzte Himmelssphäre an, Dieses einfache Schema konnte freilich nur so lange festgehalten werden. als man in der Erde zugleich den Mittelpunkt des Weltalls erblickte, und mit der grossen Reform des Coppernicus verlor auch die scholastische Elementenlehre ihren ganzen Halt.

Unsere Erde kann bekanntlich ohne merkbaren Fehler als ein durch die Umdrehung einer Ellipse*) um ihre kleine Achse entstandener Körper, als ein sogenanntes Rotationsellipsoid oder Sphaeroid betrachtet werden, obwohl nicht einmal der ruhenden Meeresfläche diese Form in aller Strenge zukommt. Die Anziehung vielmehr, welche von dem Festlande auf das Wasser ausgeübt wird, bedingt es, dass letzteres an den Rändern der Kontinente in die Höhe steigt, und wenn man sich somit von dem, was man mit dem Worte „Erdgestalt" bezeichnet, eine klare Vorstellung machen wollte, so blieb nur übrig, im Anschlusse an die Vorschläge von Listing und Bruns eine gewisse ideale, rein mathematisch definierte Fläche, eine sogenannte „Niveaufläche" der Erdrinde, unter dem Namen Geoid zum Repräsentanten der Erdgestalt zu machen. Eine Geoidfläche ist dadurch bestimmt, dass die Richtung der

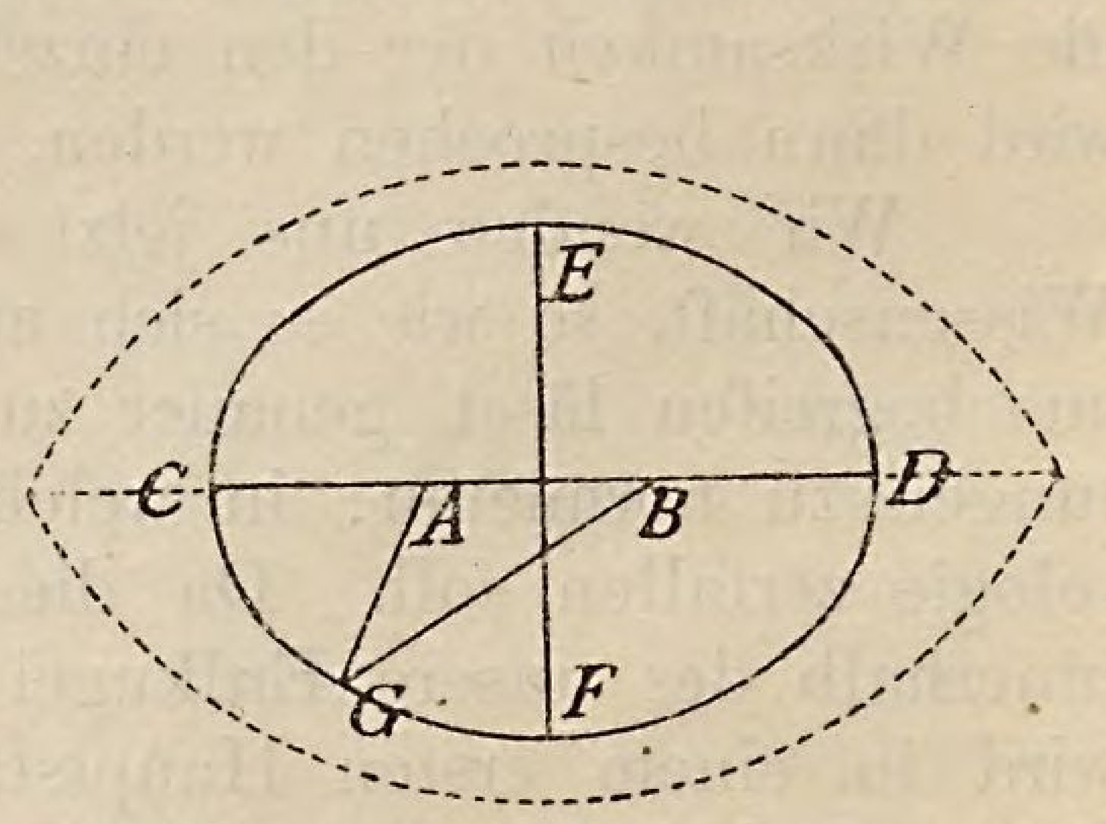


Fig. 1.

*) Wenn in Fig. 1 die ausgeführte Kurve eine Meridianellipse der Erde bedeutet, deren beide Brennpunkte A und B sind, so ist CD die grosse, EF die kleine Achse, und wo auch G auf dem Umfange der Ellipse gelegen sein mag, ist immer AG + BG = CD.

Schwere allenthalben zu ihr senkrecht steht; sie ist unregelmässig gekrümmt, doch sind ihre höchsten Erhebungen über und ihre tiefsten Senkungen unter eine sich ihr möglichst genau anschmiegende Ellipsoidfläche, das Referenzellipsoid, nicht sehr beträchtlich. Auch innerhalb der Atmosphäre lassen sich nun natürlich unendlich viele einander unendlich benachbarte Niveauflächen dieser Art unterscheiden, und zwar besitzen dieselben, solange sie von der Oberfläche der festen Erde nicht allzuweit entfernt sind, ebenfalls eine im grossen und ganzen sphaeroidische Form. Wie neuerdings Helmert*) dargethan hat, weicht jedoch bei grösserer Entfernung von der Erde diese annähernde Uebereinstimmung mehr und mehr, und die Grenzfläche der Atmosphäre, jenseits deren der leere oder allenfalls mit „Aether"**) erfüllte Weltraum beginnt, besitzt sogar in der verlängerten Aequatorebene der Erde eine Kante***). Soweit übrigens hat sich meteorologische Forschung auch nur in seltenen Ausnahmefällen zu erstrecken, und unter gewöhnlichen Verhältnissen haben wir volles Recht, die atmosphärischen Niveauflächen als Ellipsoide zu betrachten.

Wie weit erstreckt sich nun aber die Atmosphäre, wie weit ist jene Grenzfläche vom Erdkörper selbst entfernt? Diese Frage zu beantworten, ist von je auf die verschiedenste Weise zu beantworten versucht worden, doch sind wir bis jetzt noch keineswegs zu irgend abschliessenden Resultaten durchgedrungen, und die für die Höhe der Atmosphäre angegebenen Ziffern können auf keine andere als auf eine roh angenäherte Richtigkeit Anspruch machen.

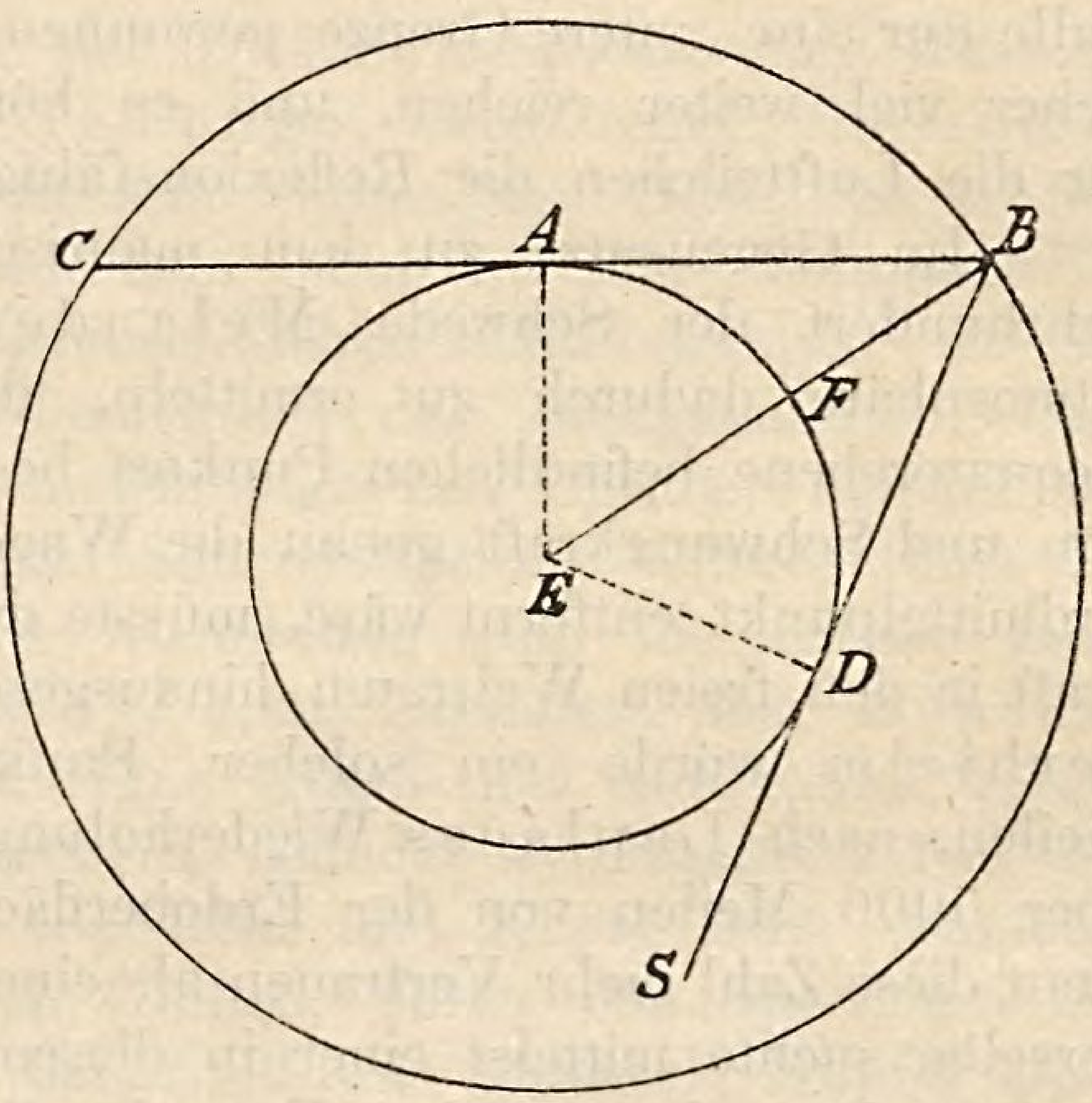


Fig. 2.

Den ersten Vorschlag in diesem Sinne machte der Araber Ibn Haitham, gewöhnlich Alhazen genannt. Es sei E der Mittelpunkt zugleich für die Erde und für

*) Helmerts Werk »Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie« (Leipzig, 1. Band 1880, 2. Band 1884) gilt als das Grundbuch der neueren exakten Erdkunde. Uns interessieren hier insbesondere die Ausführungen im zweiten Teile (S. 100 ff.).

**) Das Vorhandensein eines den Weltraum erfüllenden Mediums von äusserster Feinheit erschloss Loys de Cheseaux aus der »Auslöschung des Sternenlichtes«, wodurch bewirkt werde, dass uns nicht der ganze Himmel im hellsten Lichtglanze erscheine, Encke aus der Verkleinerung der grossen Bahnachse gewisser Kometen von kurzer Umlaufszeit. Doch hat v. Asten letztere Annahme zurückgewiesen, und die Fachmänner sind noch keineswegs darüber einig, ob es einen Aether gibt und ob dieser, falls er wirklich existiert, mit dem Lichtaether übereinstimmt.

***) Vgl. in Fig. 1 die gestrichelte Curve; sie stellt einen Meridian der Grenzfläche dar.

die Atmosphäre, deren Grenzfläche in unserer Fig. 2 durch den grösseren der beiden konzentrischen Kreise dargestellt wird. Ein Beobachter, der sich auf der Erde in A befindet, sieht ein genau in seinem Horizonte BC befindliches Wölkchen B gerade noch von den Strahlen der längst untergegangenen Sonne erleuchtet. Der Strahl BA ist der in B an der Grenzfläche der Atmosphäre zurückgeworfene Strahl SB, welch letzterer, wenn in der That die Beleuchtung im nächsten Momente schon zu Ende ist, tangierend an der Erdkugel hinstreifen muss. Bezeichnen wir mit D diesen Berührungspunkt und ziehen BE, welche Linie den Erdkreis in F schneidet, so ist offenbar nach dem bekannten Reflexionsgesetze Winkel ABE = Winkel DBE = Winkel DGE, woferne wir den Durchschnitt von BD mit dem Luftkreise durch G bezeichnen würden. Der Winkel BEG = 2. Winkel BED = 2. 90^0 — 2. Winkel DBE ist bekannt, da man die Zeitzwischen dem Untergange der Sonne und dem gänzlichen Aufhören der Beleuchtung gemessen hat, und da auch der Erdhalbmesser DE bekannt ist, so man nach einfacher trigonometrischer Regel die Hypotenuse BE des rechtwinkligen Dreiecks DEB berechnen. Von BE wird wiederum der Erdradius EF subtrahiert, und der Rest ist eben die gesuchte Höhe FB der Atmosphäre. Eine genaue Rechnung würde, hierauf gestützt, etwa 80 bis 90 km ergeben. Allein freilich wäre so auch im günstigsten Falle nur eine untere Grenze gewonnen; die Atmosphäre kann und wird sicher viel weiter reichen, und es hört nur in ihren oberen Regionen für die Luftteilchen die Reflexionsfähigkeit mehr und mehr auf.

Im Gegensatze zu dem maurischen Optiker suchte im vorigen Jahrhundert der Schwede Melanderhjelm eine obere Grenze der Atmosphäre dadurch zu ermitteln, dass er die Lage eines in der Aequatorebene befindlichen Punktes bestimmte, für welchen sich Attraktion und Schwungkraft genau die Wage halten. Was noch weiter vom Erdmittelpunkt entfernt wäre, müsste durch die Wirkung der Zentrifugalkraft in den freien Weltraum hinausgeschleudert werden. Nach Melanderhjelm würde ein solcher Punkt nahe an 5000 geographische Meilen, nach Laplaces Wiederholung der nämlichen Rechnung sogar über 5000 Meilen von der Erdoberfläche entfernt sein. Jedenfalls verdient diese Zahl mehr Vertrauen als eine von G. G. Schmidt berechnete; derselbe suchte mittelst einer in diesem Falle unstatthaften Anwendung gewisser hydrodynamischer Formeln die Grenze da, wo sich Gravitation und spezifische Elasticität der Luft das Gleichgewicht halten. Wir wissen auch nicht einmal bestimmt, ob nicht in der That für sehr geringen Druck und niedrige Temperaturen unsere Vorstellungen von der Ausdehnsamkeit der Luft einer Korrektur bedürfen; De la Rive wenigstens und Poisson haben letzteres in allem Ernste behauptet.

Durch thermodynamische Ueberlegungen, auf welche tiefer nur mit Aufgebot mathematischer Unterstützung eingegangen werden könnte, hat A. Ritter zuerst gefunden, dass wenn unsere Atmosphäre aus reinem Wasserdampf bestünde, ihre Höhe etwa 350 Kilometer betragen würde, und zweitens glaubte er annehmen zu dürfen, dass auch das Gemisch von Gasen und Dämpfen, als welches wir die Atmosphäre thatsächlich ansehen müssen, sich in allen wesentlichen Punkten, also auch hinsichtlich seiner Ausdehnung, ebenso verhalten würde, wie eine

homogene Lufthülle der ersten Art. Dafür nun, dass Ritters Schätzung so ziemlich das richtige trifft, sprechen auch andere gute Gründe. Flögel hat die Parallaxen einer Reihe von Nordlichtkronen gemessen und hieraus berechnet, dass die Polarlichter, die doch ganz gewiss nicht in einem völlig leeren Raume zustande kommen, sondern eines körperlichen Substrates für ihre glänzende Erscheinung bedürfen, in einem von der Erde mindestens um 300 km entfernten Teile des Luftkreises entstehen, und zu ähnlichen, aber noch grösseren Zahlen haben andere Untersuchungen von verwandter Tendenz geführt. Endlich mass Schiaparelli die Höhen, in welchen die aus dem Weltraume kommenden und beim Eindringen in die dichteren Regionen der Atmosphäre allmählig bis zur Glühhitze sich erwärmenden Meteorkörperchen aufzuleuchten beginnen. Diese Höhen betragen durchschnittlich mehr als 200 km, und da wir uns doch sagen müssen, dass die Meteorite schon einen ziemlich grossen Luftweg durchmessen haben werden, ehe die vermehrte Reibung ihre Erhitzung bis zum Selbstleuchten steigert, so können wir als das Fazit der von Ritter, Flögel und Schiaparelli ausgeführten Arbeiten wohl ohne Besorgnis den folgenden Satz aufstellen:

Die Höhe oder, richtiger gesagt, die Dicke unserer Erdatmosphäre kann annähernd auf 300 bis 400 Kilometer veranschlagt werden.

Wir fragen nunmehr nach der Zusammensetzung der Atmosphäre. Dieselbe ist ein Gemenge, nicht eine chemische Mischung*) zweier in der Natur sehr verbreiteten Gase, des Stickstoffs und Sauerstoffs, und zwar sind in 100 Volumenteilen atmosphärischer Luft, mit nur unwesentlichen Schwankungen, 79 Volumenteile des ersten und 21 Volumenteile des zweitgenannten Gases vorhanden. Derjenige Teil der meteorologischen Chemie, welcher sich mit der Prüfung der Luft auf ihren Sauerstoffgehalt befasst, führt den Namen Eudiometrie; mit ihrer Ausbildung sind die Namen Landrianis, Priestleys, Scheeles, ganz besonders aber Boussingaults und Dumas' verknüpft. Eine Kugel und eine Röhre werden aneinandergeschraubt; in dieser letztern befindet sich äusserst fein verteiltes Kupfer. Die Verbindung von Rohr und Kugel wird evakuiert, dann erhitzt man ersteres bis zum Glühen, öffnet den Sperrhahn und lässt die Luft einströmen, deren Sauerstoff das glühende Kupfer gierig verschluckt. Nun wird abgesperrt und die Kugel gewogen, wobei das Gewicht P_1 gefunden werden möge; nachdem abermals alle Luft ausgepumpt ist, nimmt man wieder eine Wägung vor, bei welcher sich das Gewicht P_2 ergiebt. So ist denn $P = P_1 - P_2$ das Gewicht des Stickstoffs, wogegen das des Sauerstoffs durch die Gewichtsdifferenz der von der Kugel abgelösten Röhre geliefert wird. Dass die zum Versuche

*) Den Gegensatz zwischen mechanischem Gemenge und chemischer Mischung ersieht man am besten aus folgendem Beispiele: Rührt man noch so fein verteilte Mengen von Quecksilber und Schwefel durcheinander, so unterscheidet man auch noch im kleinsten Quantum des Gemenges die beiden verschiedenen Grundbestandteile; gibt man die Stoffe dagegen im richtigen Verhältnis unter gleichzeitiger Erhitzung zu einander, so entsteht ein völlig neuer Stoff, Zinnober, in welchem Schwefel und Quecksilber nicht mehr erkannt werden.

verwendete Luft vorher von allen sonst noch in ihr befindlichen Stoffen befreit sein muss, versteht sich ganz von selbst. Nach Schmids höchst fleissiger und verlässlicher Zusammenstellung einer Menge unter den verschiedensten Umständen genommener Luftproben *) kann man behaupten, dass die Schwankung im Volumen- und Gewichtsverhältnis der beiden Hauptbestandteile der Erdluft eine nur sehr geringfügige ist: bei neun Messungen der Meeresluft, die Lewy 1841 an Orten vornahm, welche an geographischer Breite im ganzen um 5^0, an geographischer Länge um fast 9^0 differierten, ergaben sich als Grenzwerte des in Gewichtsprozenten ausgedrückten Sauerstoffs die Zahlen 22,58 und 23,23. Näheres über örtliche Schwankungen enthält das dritte Hauptstück.

Allerdings aber findet man in der Atmosphäre auch noch kleine Quantitäten anderer Stoffe vor, die trotz ihrer anscheinenden Geringfügigkeit gleichwohl im Haushalte der Natur ihre Rolle spielen und zumal auch eine ziemlich grosse Bedeutung für das Wohlbefinden des Menschen besitzen. In erster Linie ist hier die Kohlensäure zu nennen, von welcher in 10 000 Volumteilen atmosphärischer Luft 3—6 Volumteile enthalten sind. Sowohl in den Alpen wie auch im indischen Himalaya ist eine Zunahme des Kohlensäuregehaltes mit der Höhe beobachtet worden, und auf dem Gipfel des Monterosa tritt an die Stelle der obigen Maximalzahl 6 sogar die Zahl 8. Freilich wollen die bei Ballonfahrten erzielten Resultate mit den bei Bergbesteigungen erhaltenen nicht recht zusammenstimmen, und selbst diese letzteren lassen in manchen Fällen, z. B. in den Pyrenaeen, auf eine ziemlich gleichförmige Verteilung der Kohlensäure durch sämtliche Niveauflächen der Luft schliessen. Hier liegt also für weitere Forschung noch ein ausgedehntes Feld vor. Völlig im klaren ist man hingegen über den Zusammenhang, welcher zwischen der atmosphärischen Kohlensäure und der vegetativen Bekleidung der Erdoberfläche obwaltet. Seit Bonnet und Ingenhousz weiss man, dass die Pflanzen unter dem Einflusse des Sonnenlichtes die Kohlensäure aus der Luft abscheiden, wogegen dann wieder bei Nacht eine Exhalation des im Verlaufe des Tages assimilierten Stoffes stattfindet. Wo kahles, anstehendes Gestein den Boden bedeckt, wie eben auf hohen Gipfeln, da wird naturgemäss ein relatives Maximum von freier Kohlensäure angetroffen werden, und so haben denn auch wirklich Müntz und Aubin für die fast von jeder Vegetation entblösste Umgebung des Kap Hoorn ein solches Maximum konstatieren können. Auch in der Bodenluft ist Kohlensäure enthalten, und Pettenkofer und v. Fodor haben uns dieselbe der quantitativen Analyse zu unterwerfen gelehrt.

In noch weit minimaleren Mengen können bei dem heutigen Stande der chemischen Forschung auch noch andere Stoffe als unserer Atmosphäre angehörig nachgewiesen werden. Da haben wir zunächst Ammoniak **), welches wohl auf keine andere Art als durch die Verwesung dieser und jener organischer Materie der Luft zugeführt wird, da haben wir ferner den Schwefelwasserstoff, welcher allem Anscheinen nach

*) E. Schmid, Lehrbuch der Meteorologie, S. 14 ff.

**) Es ist dies nicht reines, aus Stick- und Wasserstoff zusammengesetztes Ammoniakgas, sondern wohl nur ein kohlensaures Salz des Ammoniumoxydes.

aus derselben Quelle hervorgeht und vorzugsweise in den untersten Schichten der über einem Meeresstrande lagernden Luftmasse sich geltend zu machen pflegt *), da ist endlich Wasserstoffgas als Exmissionsprodukt feuerspeiender Berge. Weit wichtiger ist es, dass in der gewöhnlichen atmosphärischen Luft sich immer Wasserdampf befindet, wennschon in sehr wechselnden Mengen. Die Art und Weise der Bestimmung seines Vorhandenseins nach Qualität und Quantität kann erst später geschildert werden. Für jetzt genüge es zu sagen, dass im mittleren Europa selbst im Hochsommer der Wassergehalt der Luft nur auf 1,3 Volumprozente steigt, während freilich in Hinterindien, in der feuchtwarmen Atmosphäre der Tropen, dieser Gehalt nahezu 3 $^0/_0$ erreicht. Je tiefer ein Ort im Binnenlande gelegen ist, desto grösser ist einer von Ucke angefertigten Tabelle zufolge die Schwankung zwischen Sommer und Winter hinsichtlich der in der Luft vorrätigen Wassermenge. Von dem Einflusse, den dieser Wechsel in klimatischer Beziehung, also vor allem auf die Gesundheit des Menschen ausübt, wird im dritten Hauptstücke zu sprechen sein.

Der Baseler Naturforscher Schoenbein ist der Entdecker eines besonderen Stoffes, welcher unter dem Namen Ozon namentlich als hygieinischer Faktor mit Recht viel von sich reden macht. Sehr einfach stellt man das Ozon dadurch dar, dass man Bariumsuperoxyd vermittelst Schwefelsäure zersetzt. Man kann zur Zeit noch nicht mit vollkommener Sicherheit darüber entscheiden, ob Ozon einen selbständigen Stoff oder, wie Schoenbein selber mutmasste, nur eine allotrope Form des Sauerstoffs repräsentiert, welch letztere Ansicht mit den neuesten Versuchen von Chappuis und Hautefeuille wohl nicht recht harmonieren würde. **) Überall da, wo Ozon in einigermassen erheblichem Grade sich vorfindet, ist die Luft frei von organischen Beimengungen, also der Gesundheit zuträglich, weshalb auch die ozonreiche Waldluft Kranken besonders empfohlen wird. Die Messung des Ozongehaltes, die sogenannte Ozonometrie, liegt noch sehr im argen.***)

*) Schwefelwasserstoff wurde allenthalben in der Luft da nachgewiesen, wo die Luft sehr ungesund ist (Malaria in Italien, perniziöses Fieber der Tropenregion). Doch wäre es schon deshalb verfehlt, in jenem Stoffe den eigentlichen Träger des Übels zu erblicken, weil auch in anderen Gegenden, z. B. in der an sich durch Salubrität ausgezeichneten Umgebung von Schwefelquellen genau das gleiche wahrgenommen wird, ohne dass die Luft im mindesten mit Miasmen geschwängert wäre.

**) Durch die Bemühungen von Cailletet, v. Wroblewski u. a. ist es bekanntlich gelungen, bei gleichzeitiger Anwendung von Druck und Kälte die verschiedensten Gase, auch viele der früher fälschlich für permanent gehaltenen, aus dem elastischflüssigen in den tropfbarflüssigen Aggregatzustand überzuführen. Die oben genannten Physiker nun fanden, dass die Flüssigmachung des Ozons und diejenige des Sauerstoffs zwei ganz verschiedene Prozeduren seien, und daraus würde man doch wohl abnehmen müssen, dass auch das molekulare Verhalten des einen Gases völlig von dem des anderen abweicht. Der genannte polnische Forscher hat unlängst bei diesen gefahrvollen Versuchen, welche schon manches edle Opfer forderten, einen ehrenvollen Tod auf dem Schlachtfelde der Wissenschaft gefunden.

***) Wer sich über das Ozon und die einzelnen Äusserungen dieses von der Heilkunde — Frerichs, Lender — mit immer steigendem Interesse betrachteten Stoffes näher unterrichten will, dem ist Englers Abhandlung in Jahrgang 1879 der »Leopoldina« zu empfehlen.

Wir würden uns bei unserer Aufzählung der die atmosphärische Luft bildenden oder doch in ihr enthaltenen Stoffe einer grossen Unterlassung schuldig machen, wenn wir nicht auch der zahllosen und nur zum kleinsten Teile mit dem blossen Auge erkennbaren Fremdkörper gedenken wollten, welche fast stets der Luft beigemengt, in ihr suspendiert sind, und über welche die Untersuchungen von Tissandier, Ehrenberg, Prestel, Mascart, Aitken und Assmann das wünschenswerte Licht verbreitet haben. So prüfte z. B. Tissandier die Luft von Paris in der Weise, dass er ein bestimmtes Luftquantum durch destilliertes Wasser hindurchstreichen liess; da fanden sich denn selbst bei klarem Wetter noch in 1 Kilogramm Luft nicht weniger denn 23 Milligramm solcher eigentlich nicht in die Luft gehöriger Eindringlinge, für welche wir den zusammenfassenden Ausdruck Staub gebrauchen, und zwar waren darunter organische Substanzen jedweder Art, Chlor- und Schwefelverbindungen, alkalische Erden, Ammoniaknitrat, Phosphate, Kiesel und sonst noch alles mögliche. Wasser, das aus den Wolken niederfällt, enthält gleichfalls unter allen Umständen derartige Beimengungen; der Staubgehalt steht ungefähr im umgekehrten Verhältnis zur Regenhöhe, und schon ein geringerer Regenfall dient zur Reinigung der Atmosphäre. Aitken berechnet sogar die Menge der Staubkörnchen in gegebenem Luftquantum.

Die suspendierten Stoffe werden vom Winde oft sehr weit fortgetragen, ehe sie durch das Übergewicht ihrer Schwere wieder zu Boden fallen. Regenwasser, welches Brandes im Jahre 1825 bei Salzufflen gesammelt hatte, enthielt vorwiegend Chloride, d. h. es war Meereswasserstaub, den der Wind mit fort gerissen hatte, und der dann die erwähnten Residuen lieferte. Bekannt sind ferner jene eigentümlichen Erscheinungen, welche man als Blut- und Schwefelregen bezeichnet hat, wiewohl diese Ausdrücke nach dem, was man jetzt von der Sache weiss, so schlecht als möglich gewählt erscheinen. Der Blutregen ist in der Hauptsache identisch mit dem von Ehrenberg genauer studierten Passatstaub, welcher an den Küsten des tropischen Afrika eine bekannte Belästigung des Seefahrers bildet. Die Luft erhält durch ihn eine zimmtfarbige Trübung; bringt man ein kleines Quantum des Staubes unter das Mikroskop, so erkennt man feinen Quarzsand und noch feineren gelbrötlichen Mulm nebst Bimsteinfragmenten und kleinen Krystallen. Auch tierische und pflanzliche Reste fehlen nicht. Jedenfalls hat hier ein kräftiger aufsteigender Luftstrom alle möglichen leicht beweglichen Teilchen der verschiedensten Stoffe von der Erdoberfläche losgerissen und mit sich in die Höhe geführt, von wo aus sie nach und nach wieder herabfallen. Die Callina Spaniens, ein in den heissen Hochebenen dieses Landes nicht selten zu beobachtender, bräunlichroter oder bleifarbener Dunstring am Horizont, mag ebenso wie der ihm ähnliche Hitzenebel Aethiopiens, den uns D'Abbadie unter dem Namen Quobor schildert, auf die Erfüllung der Luft mit aufgewirbelten Sandmengen zurückzuführen sein. Ganz eine andere Bewandnis hat es mit jenem Regen, durch welchen oft Strassen und Plätze mit einem feinen gelblichen Pulver, dem sogenannten „Schwefel“, bedeckt werden; in Wahrheit handelt es sich hier um den Blütenstaub von Fichten, Wachholder-

büschen, Erlen u. s. w., welcher vom Winde häufig in sehr grosse Entfernungen transportiert wird. Dass ein indischer Drehsturm sogar imstande ist, kleine Fische ihrem Elemente zu entführen und weit landeinwärts wieder abzusetzen, wird durch Männer bezeugt, an deren Glaubwürdigkeit wir zu zweifeln keinen Grund haben.

Eine ganz besondere Art von Staub ist diejenige, welche in unserem Vaterlande als Moorrauch bekannt ist. Die vielfach verbreitete Ansicht, dass der im Südwesten Deutschlands häufige Höhenrauch durch ganz dieselben Ursachen bedingt sei, wie jener erstere, wird von Assmann bestritten *); der Höhenrauch ist ihm zufolge wesentlich nur eine Staubansammlung, ähnlich wie der uns schon bekannte Passatstaub. Hingegen ist der Moorrauch oder Haarrauch eine im Grunde durchaus lokale Erscheinung, wiewohl unter ihm hie und da auch abgelegene Teile von Mitteleuropa zu leiden haben **). An der Nordseeküste, in den Flussgebieten der Ems und Hunte, liegen ausgedehnte Moore, welche seit langer Zeit von den Anwohnern dadurch für den Ackerbau brauchbar gemacht werden, dass man ihre Oberfläche in Brand setzt. Prestel in Emden hat diesen Prozess eben unter dem meteorologischen Gesichtspunkte sorgfältig verfolgt und u. a. festgestellt, dass die aus den verbrannten Aeckern sich erhebende Luftsäule bis zu einer Höhe von 3000 m ansteigen kann. Da ist es denn leicht erklärlich, dass die Verbrennungsprodukte in die oberen Luftströmungen gelangen und von diesen weit verweht werden. In Bremen hat sich seit mehreren Jahren schon ein Verein gegen das Moorbrennen gebildet, der auch bereits Erfolge seines Wirkens aufzuweisen hat. Uebrigens gibt es aber auch noch andere Länder, deren Atmosphäre solch schlimme, übelriechende Trübungen aufzuweisen hat; hierher gehört namentlich das nördliche Russland, dessen Landleute der mangelnden Kulturfähigkeit ihres Bodens in ähnlicher Weise nachhelfen, wie dies die Oldenburger und Friesen thun. Zudem tragen daselbst die nicht auszurottenden Waldbrände viel zur Verfinsterung der Luft bei.

Nachdem wir wissen, wie die Lufthülle unserer Erde begrenzt ist, wie weit sie sich erstreckt und aus was für Bestandteilen sie besteht, fragen wir nach den physikalischen Gesetzen, von welchen das Verhalten der Atmosphäre, sei es im ganzen, sei es in einzelnen Teilen, abhängig ist. Die Alten besassen noch keine eigentliche Aerostatik; Philon und Heron hatten zwar bereits Erfindungen gemacht, welche, wie das Dampfreaktionsrad, die Feuerspritze u. s. w., aerostatische Wahrheiten scheinbar zur unumgänglichen Voraussetzung haben müssen, allein das Erfindungsgenie dieser Männer war eben der theoretischen Erkenntnis vorangeeilt, und ihre Erklärungsversuche sind zwar, wenn wir Zeit und Umstände in betracht ziehen, keineswegs verächtlich, aber doch auch nicht zutreffend in unserem Sinne. Die Bahn brach hier, wie auf so manchem anderen Arbeitsfelde, Galilei mit seinen unmittelbaren Schülern.

*) Assmann's Negation gewinnt dadurch an Wahrscheinlichkeit, dass E. Vogel auch am afrikanischen Tsad-See eine dem Höhenrauche Thüringens vergleichbare trockene Trübung der Luft zu beobachten Gelegenheit hatte.

**) Im Jahre 1857 begann das Moorbrennen, wie gewöhnlich, in den ersten Tagen des Mai, am 18. dieses Monats war der davon herrührende Rauch in Dresden angelangt, und tags darauf machte er sich schon in Krakau bemerklich.

Die Brunnenmacher von Florenz hatten ihm ihr Leid darüber geklagt, dass eine Saugpumpe das Wasser im Pumpenrohre nicht bis über eine gewisse Höhe zu heben vermöge, was mit der herrschenden aristotelischen Lehre, nach welcher der „Abscheu vor dem Leeren“ eigentlich an gar keine Grenzen gebunden sein sollte, durchaus nicht harmonierte. Galilei selbst sah sich noch nicht in der Lage, dieses scheinbare Paradoxon voll befriedigend aufzuklären, allein er regte seinen Schüler Torricelli zu weiterer Beschäftigung mit dem Probleme an, und dieser war es, der kurz nach des Meisters Tode den so wichtig gewordenen Begriff des Luftdruckes formulierte. Weiter unten, beim Barometer, werden wir die Ueberzeugungen kennen lernen, welche ihn bei dieser grossen Neuerung leiteten. An Torricellis Entdeckung reiht sich historisch und kausal diejenige an, welche wir Boyle und Mariotte verdanken, und welche auch durch einen den Namen dieser beiden Forscher tragenden Lehrsatz gekennzeichnet ist. Man bemerkte nämlich, dass im Gegensatze zu den tropfbaren Flüssigkeiten, welche fast absolut inkompressibel sind und selbst bei Anwendung des fein ausgedachten Sympiezometers von Oersted nur in minimalem Grade zusammengedrückt werden können, die Gasarten bei wachsendem Drucke stets mehr und mehr komprimiert werden, um dann beim Nachlasse des Druckes sofort wieder zu ihrem früheren Volumen zurückzukehren. Gase sind eben, kurz gesprochen, elastische Stoffe. Das Boyle-Mariotte'sche Gesetz aber besagt, dass das Volumen dem Drucke umgekehrt proportional ist, dass also z. B. ein Gasvolumen 1, auf welchem ein Druck $=$ 1 lastet, bei sechsfacher Verstärkung dieses letzteren nur noch ein Volumen $= {}^1/_6$ besitzt. Allerdings ist dieser Lehrsatz nicht in absoluter Strenge und unter allen Umständen richtig; die atmosphärische Luft folgt nach den von Depretz und Regnault angestellten Versuchen dem Gesetze um so besser, je geringer ihre Dichtigkeit ist.

Dabei ist übrigens auch vorausgesetzt, dass die Prüfung des Gesetzes stets unter der nämlichen Temperatur erfolgt sei. Offenbar muss aber auch darauf Rücksicht genommen werden, dass die Wärme auf jedes Gas ebenso wie auf jeden anderen Körper ausdehnend wirkt. Nachdem verschiedene frühere Experimentaluntersuchungen das Wesen dieser Ausdehnung nicht ausreichend aufgeklärt hatten, erkannte Gay-Lussac (1802) zuerst die sehr merkwürdige Thatsache, dass sämtliche Gase und Dämpfe durch die Zuführung gleicher Wärmemengen stets auch um gleichviel sich ausdehnen, dass sie, um in der Sprache der Physik zu sprechen, den nämlichen Ausdehnungskoeffizienten besitzen. Auch dies ist nicht absolut zutreffend, vielmehr muss man mit Rudberg und Regnault annehmen, dass die ursprüngliche Dichte des in Ausdehnung befindlichen Gases ebenfalls eine gewisse Rolle spielt. Neuerdings hat Kuhn*) eine Formel aufgestellt, welche an Stelle des früheren Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetzes treten soll; dieselbe zeichnet sich durch einen hohen Grad von Allgemeinheit

*) M. Kuhn, über die Beziehung zwischen Druck, Volumen und Temperatur bei Gasen, Wien 1875.

aus, doch muss an diesem Orte auf eine nähere Skizzirung derselben verzichtet werden, da sich hiebei der Gebrauch höherer Rechnungen nicht umgehen lässt. Eine weitere sehr wichtige Beziehung zwischen Temperatur und Druck haben vor nicht langer Zeit v. Bauernfeind und Schlemüller unabhängig von einander und auf ganz verschiedenen Wegen ermittelt.*)

Einige Worte sind auch noch zu sagen über das Verhalten des in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfes, dessen einzelne Bestandteile nicht, wie man früher glaubte, hohle, sondern massive Kügelchen von äusserst geringem Durchmesser zu sein scheinen. Wasser lässt sich auf zweierlei Weise in den dampfförmigen Zustand überführen: durch natürliche Verdampfung langsam und durch den Siedeprozess akut. Wie aber auch die Verwandlung des Wassers aus dem tropfbaren in den elastischen Zustand sich vollziehen möge, immer hat man es bei diesem Akte mit einer gewissen Arbeitsleistung zu thun, ganz ebenso wie beim Schmelzen des Eises, wenn also das Wasser aus dem festen Aggregatzustande in den tropfbarflüssigen übergeht. Die mechanische Wärmetheorie legt klar, dass jeder Arbeitsleistung ein bestimmtes Wärmequantum in dem Sinne zugehört, welcher sich in dem Grundsatze der modernen Physik ausspricht: das, was wir Wärme nennen, ist nur eine interne mehr oder minder lebhafte Bewegung der kleinsten Teile der Körper, der Moleküle. Steckt man somit in schmelzendes Eis oder siedendes Wasser ein Thermometer und erhält durch Mitteilung von immer neuer Wärme den Vorgang des Schmelzens oder Siedens in ununterbrochenem Gange, so scheint das Thermometer von dieser Wärmevermehrung nicht das mindeste zu verspüren, es bleibt unverrückt auf seinem Stande, bis die Molekulararbeit endgiltig gethan, das Eis zu Wasser resp. das Wasser zu Dampf geworden ist. Die neu zugeführte Wärme war unfähig zur Erhöhung der Temperatur; sie diente als latente Wärme oder Ausdehnungswärme lediglich dazu, die Amplitude der durch einander schwingenden Teilchen zu vergrössern. Diejenige Quantität Wasserdampf, welche ein Raum von gegebener Grösse zu fassen imstande ist, wird durch die herrschende Temperatur bestimmt, und wenn ein bestimmtes Luftvolumen soviel Wasserdampf in sich aufgenommen hat, als es bei den gegebenen Temperaturverhältnissen überhaupt aufzunehmen vermag, so sagt man, es sei mit Wasserdampf gesättigt; der Wasserdampf hat das Maximum der Spannkraft erreicht, und das Thermometer zeigt auf den Thaupunkt. Noch eine kleine Erniedrigung der Temperatur, und derjenige Dampf, welcher in dem zuerst gegebenen Raumteil von Luft keinen Platz mehr findet, wird in Form von flüssigem Wasser ausgeschieden. Die Menge des gerade bei Erreichung des Thaupunktes in der Luft vorhandenen Wasserdampfs liefert das Mass der absoluten Feuchtigkeit. Weit wichtiger als meteorologischer Faktor ist die relative Feuchtigkeit. Dividiert man in jene Dampfmenge, welche

*) Besagter Satz lautet: Die Drücke in verschieden weit von der Erdoberfläche entfernten Niveauflächen der Luft verhalten sich wie die sechsten Potenzen der absoluten Temperaturen.

die Luft wirklich enthält, mit derjenigen Dampfmenge, welche sie bei der gerade beobachteten Temperatur allerhöchstens enthalten könnte, so erhält man die relative Feuchtigkeit, welche also für den Grenzfall, in welchem der erwähnte Bruch den Wert 1 annimmt, in die absolute übergeht.

Wir wissen jetzt also, dass in vielen Fällen aus der Luft tropfbares oder sogar gefrorenes Wasser austreten kann, und es verlohnt sich, die Besonderheiten dieses Absonderungsvorganges sorgfältig zu untersuchen. Da zieht denn allererst der Thau unsere Aufmerksamkeit auf sich, dessen richtige Auffassung man dem Franzosen Le Roi und dem Engländer Wells verdankt, während man früher allgemein der Meinung gehuldigt hatte, dass die am Boden in kalten Nächten sich bildenden Wassertröpfchen vom Himmel herabgefallen seien. Sagen wir doch selbst heute noch, wo wir doch den Sachverhalt besser kennen, es sei reichlicher oder spärlicher „Thaufall" eingetreten. Die dem Boden nahe anliegenden Luftschichten bleiben ohne Trübung, die Kondensation vollzieht sich ausschliesslich da, wo die Luft mit einem Festkörper in Berührung kommt, und dieser überzieht sich mit einem feinen Beschlage, welcher sich wohl auch, zumal wenn die Oberfläche eine rauhe ist, wie bei Pflanzenblättern, zu kleinen Tröpfchen zusammenballen kann.*) In dem Augenblicke, da die Luft am Gefrierpunkte ankommt, gefriert der Thau und erstarrt in einer krystallinischen Kruste; dieser Reif ist mithin nichts anderes als gefrorener Thau, wie Konrad von Megenbergs „Buch der Natur" im XIV. Jahrhundert schon ganz sachlich hervorhebt. Dass die Vegetation der Thauentstehung förderlich ist, begreift sich leicht, wenn man bedenkt, dass die immer stark mit Wasser imprägnierten Pflanzen unaufhörlich im Verdunstungszustande sich befinden. Obwohl wir nach alldem mit den Bedingungen der Thau- und Reifbildung gut vertraut zu sein glauben, sind wir doch in das Wesen der Begleitumstände noch nicht tief genug eingedrungen, um vorausbestimmen zu können, wie viel Wasser von einer gegebenen Fläche bei einem bestimmten Temperaturgrade abgeschieden werden muss.

Der Temperaturunterschied zwischen Boden und unterster Luftschicht, auf welchen wir das Zustandekommen von Thau oder Reif zurückführten, war eine Folge des nächtlichen Ausstrahlens des Erdbodens gewesen. Es kann aber noch ein zweites hinzukommen, nämlich eine rasche und plötzliche Erhöhung der Lufttemperatur. Tritt eine solche ein, so überzieht sich die Aussenseite der Gegenstände — und zwar zunächst derjenigen von geringem Wärmeausstrahlungsvermögen — mit einem Beschlag, der nicht dem Wesen sondern einzig und allein der Entstehungsart nach vom Thau verschieden ist und bei Temperaturgraden unter Null in Rauhfrost (Haarfrost) und Glatteis über-

*) Nach neueren Versuchen von Wollny und Aitken ist kaum daran zu zweifeln, dass die oben vorgetragene ältere Theorie der Thaubildung zwar nicht falsch aber doch auch nicht vollständig ist. Es scheint nämlich der von porösen Körpern aufgesogene Wasserdampf sehr häufig in Form kleiner Bläschen wieder an die Oberfläche zurückzutreten, und es wäre somit die Entstehung des Thaus ein Vorgang, der ebensowohl in der Richtung von oben nach unten wie auch in der Richtung von unten nach oben sich abspielt. Auch die gegenseitigen Beziehungen von Thau und Reif sind nach Aitken nicht ganz so einfach, wie oben dargelegt ward.

geht. Der Rauhfrost ist eine vom Forst- und Landwirt gleichmässig gefürchtete Erscheinung, er kann in den Wäldern, wenn die mit ihm behafteten Zweige die schwere Last nicht mehr zu tragen vermögen, den gefürchteten Bruchschaden veranlassen, er ist aber in klaren Nächten auch dem Wachstum der Rebe und der Feldfrüchte sehr gefährlich. In manchen Gegenden sucht man zur Abwehr dieses Feindes eine künstliche Trübung der Luft durch Erzeugung von Rauch herbeizuführen, denn die solchergestalt gebildete Wolke wirft die aus der Erde strahlende Wärme wieder zu dieser zurück und verrichtet so den gleichen Dienst, welchen in ihrer Art die Fenster eines Gewächshauses leisten.

In grösseren Entfernungen von der Erdoberfläche treten die wässrigen Sekretionen der Atmosphäre in derjenigen Erscheinungsform uns entgegen, welche wir Nebel und Wolken nennen. Dass das Material zu diesen Bildungen von kleinen kompakten Wasserkügelchen geliefert wird, haben wir bereits erfahren. Nur unsere Redeweise unterscheidet zwischen beiden Aggregaten, denn in Wirklichkeit sind Nebel nichts anderes als aus der Nähe gesehene Wolken und Wolken nichts anderes als aus der Ferne gesehene Nebel. Man muss sich hüten, in einer solchen Ansammlung von Wasserbläschen etwas festes, fertiges zu erblicken; sie ist dies so wenig, wie der Schaum auf einem lebhaft fliessenden Gewässer, und wer noch je eine Wolke aufmerksam ins Auge gefasst hat, weiss sehr wohl, dass die Umrisse derselben sich von Minute zu Minute ändern, in unausgesetztem Fluktuieren begriffen sind. Was die Entstehungsursache der Nebel anbelangt, so kann sie eine doppelte sein: es kann ein feuchter Wind über eine kalte Stelle des Erdbodens hinstreichen, es kann aber auch dieser letztere, zumal, wenn er am fraglichen Orte ein Wasserbedeckung hat, wärmer sein, als die oberhalb wehende Luft.*) Ein merklicher Temperaturgegensatz zwischen unten und oben ist also unentbehrlich, wenn Wolken und Nebel — dichte, nahe am Boden hinstreichende Nebel werden auch Schwaden genannt — sich bilden sollen.**) Uebrigens gibt es in den sehr hohen Regionen des Luftkreises aller Wahrscheinlichkeit nach auch Wolken, welche sich aus feinen Eisnadeln zusammensetzen.

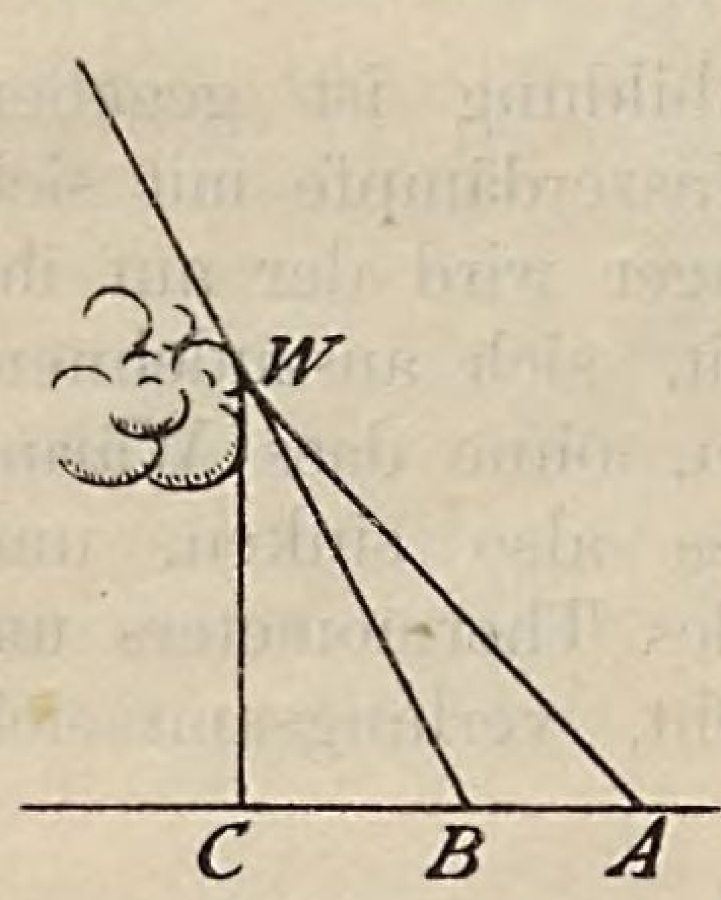
Die gewöhnliche Veranlassung zur Wolkenbildung ist gegeben durch einen aufsteigenden Luftstrom, der viele Wasserdämpfe mit sich emporführt. Je höher die Luft steigt, um so geringer wird der auf ihr lastende Druck, sie bekommt damit die Möglichkeit, sich auszudehnen, und dieser Ausdehnungsprozess kann nicht erfolgen, ohne dass Wärme verbraucht wird. Die Temperatur der Luft muss also sinken, und während für absolut trockene Luft das Sinken des Thermometers um 1^0 ungefähr einem Aufsteigen um 100 m entspricht, verlangsamt sich

*) Vgl. auch das unten (im vierten Hauptstücke) über den Londoner Nebel gesagte.

**) Die Polarnebel der Küste von Labrador, welche von den Seefahrern mit Recht gefürchtet werden, entstehen durch das Wehen verhältnissmässig warmer Winde über einem eisigen Lande, während der gleichfalls berüchtigte »englische Nebel« den die britische Küste bespülenden lauen Meeresströmungen sein Dasein verdankt. Hierher gehört auch das sogenannte »Dampfen« der Flüsse und Seen.

bei feuchter Luft diese Temperaturabnahme bedeutend, einfach aus dem Grunde, weil mit dem Erreichen des Thaupunktes die bisher latent gewesene Wärme frei zu werden beginnt und der Herabsetzung der Temperatur entgegenarbeitet. Das entgegengesetzte Verhältnis tritt ein, wenn eine Luftmasse im Niedersteigen begriffen ist; eine Kondensation von Wasserdämpfen kann in diesem Falle nicht eintreten, während eine solche beim Aufsteigen eines Luftstromes sich besonders dann fühlbar macht, wenn eine Gebirgskette oder auch nur ein isolierter Berg von jenem getroffen werden. Ein solches Hinderniss wirkt dann als Kondensator, und die Berghäupter umziehen sich mit der allen Gebirgsreisenden nur zu wohl bekannten Wolkendecke, an welche die vulgäre Wetterprognose ihre Wahrsprüche anzuknüpfen liebt.*) Die hohe klimatologische Bedeutung der Gebirge ist schon hierdurch angedeutet, und wir werden im dritten und vierten Hauptstücke Beispiele genug kennen lernen, welche uns die hier nur in grossen Zügen umrissenen Verhältnisse in ihren Einzelheiten zu verfolgen gestatten. Aus dem gesagten erhellt, dass die unterste Grenze der Wolke durch die Höhe bestimmt ist, bei welcher die aufsteigende Luft ihren vollen Sättigungszustand erreicht hat.

Die Höhe der Wolken oder, um bestimmter zu sprechen, die kürzeste Entfernung der soeben besprochenen unteren oder auch der oberen Wolkengrenze von der Erdoberfläche zu ermitteln, ist demgemäss nicht nur an und für sich von Interesse, sondern es gewährt uns die Lösung dieser Aufgabe auch die Möglichkeit zu Schlüssen auf den Wassergehalt der Atmosphäre. Ganz einfach ist diese Aufgabe nicht zu lösen. Ricciolis Methode, für welche nachmals Grunert die richtigen Formeln entwickelte, hatte in ihrer ursprünglichen Gestalt den Nachteil, zwei Beobachter vorauszusetzen, und bei der von Jakob Bernoulli an ihr angebrachten Verbesserung war es immer noch erforderlich, dass im nämlichen Augenblicke die beiden Koordinaten (Höhe und Azimut) des von der Sonne gerade noch beleuchteten Randpunktes der Wolke gemessen wurden, was in der Praxis sich als schwer thunlich erweist. Recht einfach ist hingegen das von Prestel vorgeschlagene Verfahren, bei dessen Anwendung die unerlässliche Voraussetzung allerdings darin besteht, dass die Wolke auf dem (ebenen) Grunde einen scharf ausgeprägten Schatten wirft. Ist W (Fig. 3) jener Punkt der Wolke, welchem der Endpunkt B des Wolkenschattens entspricht, A der Standort des Beobachters, so ist AB die Grundlinie eines Dreiecks ABW, von welchem diese Basis AB dadurch erhalten werden kann, dass man auf einer guten Spezialkarte die Lage von B nach dem Augenmasse einträgt. Um



(Fig. 3.)

*) Am bekanntesten ist in dieser Hinsicht wohl der Pilatus, das Wetterzeichen des Vierwaldstättersees. Aber auch der Bewohner der trockenen Tiefebenen von Attika richtet, wie Partsch erzählt, an heissen Sommertagen den Blick sehnsüchtig nach den Häuptern des Hymmettus und Pares, deren nicht ganz seltene Wolkenhaube doch auch mitunter den segensreichen Regen verkündet.

nun die gesuchte Höhe WC dieses Dreiecks zu finden, muss man den Winkel CAW mit Hilfe eines Winkelmessinstrumentes bestimmen und zugleich auf die Uhr sehen, denn sobald man die Beobachtungszeit hat, berechnet man trigonometrisch auch ganz leicht den Winkel CBW, d. h. die Höhe der Sonne. Kennt man aber von einem Dreieck eine Seite und zwei Winkel, so ist auch jedes beliebige andere Stück, zumal die von uns gesuchte Höhe WC, bekannt. Neuerdings ist man von verschiedenen Seiten mit ganz anderen Mitteln an das Problem, die Wolkenhöhe zu finden, herangetreten, doch sind manche der ausgesprochenen Ideen bei aller theoretischer Richtigkeit kaum realisierbar. Dahin gehört z. B. Jesses Projekt: man soll durch eine intensive irdische Lichtquelle auf der Wolke einen hellen Fleck erzeugen und von den Enden einer vorher gemessenen Standlinie aus die Elevationswinkel der Lichtstelle messen. Erfolgreicher verspricht die Anwendung der Photographie zu werden, welcher Abney und Zenker das Wort reden. An den Endpunkten einer Basis von bekannter Länge befindet sich je ein photographischer Apparat A und B; die Einrichtung beider ist durchaus die gleiche, und namentlich müssen sie hinsichtlich der Bildweite mit einander übereinstimmen. Elektrische Aushebung eines sogenannten Momentverschlusses bewirkt das gleichzeitige Öffnen und Schliessen der Apparate. Neben dem Apparate A steht, ihm parallel gerichtet, ein ebensolcher Apparat C, der ein wenig später geöffnet wird und dazu dient, die Richtung und Geschwindigkeit des die Wolke treibenden Windes zu eruieren; C ist mithin kein so ganz unentbehrlicher Bestandteil der Gesamtvorrichtung, wie A und B. Aus der Länge der Standlinie und der bekannten Bildweite berechnet dann Zenker die Höhe der Wolke; notwendig ist dazu noch der Höhenwinkel derselben, allein dieser ist dadurch gegeben, dass man die Winkelhöhe der Sonne nach der Zeit berechnet und im Photogramm die Höhendifferenz zwischen Sonne und Wolke unmittelbar vor sich sieht. — Man hat bis jetzt sehr verschiedene Höhen von Wolken erhalten; nach Pouillet schweben die zarten Federwölkchen so hoch, dass ihre Entfernung vom Boden 12 und mehr Kilometer beträgt.*)

Seit man vor etwa 100 Jahren die Überzeugung gewann, dass ein konsequentes Studium der Wolken für die Fortbildung der Meteorologie unerlässlich sei, steht auch die Frage nach einer bequemen und bezeichnenden Terminologie der Wolkenformen auf der Tages-

*) Wohl die beste neuere Arbeit über die Bestimmung der Höhe der Wolken sind Ekholms und Hagströms »Mesures des hauteurs et des mouvements des nuages« (Upsala 1885). Zwei zum Messen von Horizontal- und Höhenwinkeln gleich geeignete Universalinstrumente wurden 420 m weit von einander aufgestellt und in telephonische Verbindung gebracht. Das Objektiv der Fernrohre vertraten zwei sich kreuzende Kupferdrähte, das Okular vertrat ein kreisförmiger Ausschnitt von 3 mm Durchmesser. Das Telephon setzte beide Beobachter in den Stand, genau denselben Wolkenpunkt einzustellen und anzuvisieren. Die Höhengrenzen, welche die schwedischen Forscher ermittelten, waren 625 m (für Stratus) und 6823 m (für Zirrus), nicht allzu verschieden von den hiefür von Vettin auf seine eigene Weise gefundenen Werten. Die Höhe der Wolken erwies sich von der Tageszeit und von der Luftdruckverteilung abhängig; für die Höhe der Kumulus-Wolken konnte mit grosser, für die der Zirrus-Wolken mit naturgemäss etwas geringerer Sicherheit die Grösse der täglichen Periode festgestellt werden.

ordnung. Der Engländer Luke Howard*) ging hierin voran und stellte eine Klassifikation auf, welche später zwar verfeinert, in ihren Grundzügen aber nicht erschüttert zu werden brauchte. An heiteren Tagen, insonderheit des Sommers und Herbstes, wo sich die Richtung und Geschwindigkeit des Windes in den verschiedenen Schichten der Atmosphäre ziemlich gleich bleibt, bilden sich abgerundete, scharf begrenzte und aus diesem Grunde für die Verwendung der Prestelschen Methode (s. o.) sehr geeignete Wolken, für welche Howard die Bezeichnung Kumulus (»Haufenwolke«) in Vorschlag brachte. Tritt dagegen jene Voraussetzung bezüglich der in verschiedenen Höhen wehenden Luftströmungen nicht ein, so entsteht eine geschichtete, streifenförmig auseinandergezogene Wolke, Stratus (»Schichtwolke«) genannt. Je höher der wolkenbildende Luftstrom aufsteigt, umso mehr nimmt auch die Dichte und Konsistenz der Wolken ab, und wenn sie in diesem Zustande bis an den Umkehrpunkt der aufsteigenden Strömung gelangen, so zerreisst und zerfasert die Gegenströmung die Wolke in lauter feine, verwaschene Fäden, welche oft den ganzen Himmel mit einem durchsichtigen Schleier überdecken. Man hat es dann mit dem Zirrus (»Federwolke«) zu thun. Nicht selten erscheinen lange Zirrusstreifen in paralleler Anordnung, welche aber durch die bekannten Gesetze der Perspektive in eine radial gegen einen bestimmten Punkt des Horizontes konvergierende verwandelt wird; A. v. Humboldt nennt solche Wolken ohne recht zwingenden Grund Polarbanden. — Zwischen den drei Hauptkategorien ist natürlich noch Platz für alle möglichen Übergangsformen. Während in Fig. 4 a, b, c die drei ersten an typischen Beispielen zur Anschauung gebracht sind, erblicken wir in Fig. 4 d vor uns den Kumulostratus, in Fig 4 e den Stratokumulus, in Fig. 4 f den Zirrokumulus und in Fig. 4 g den Zirrostratus. Aus dem Kumulostratus entwickelt sich häufig die blauschwarze Regenwolke (Nimbus), die Fig. 4 h charakterisiert.**) Die meteorologische Praxis als solche kommt mit dieser Nomenklatur ganz gut zurecht, ja für gewöhnlich reicht man sogar mit der Trennung in untere und obere oder zirröse Wolken aus, allein im Interesse der eigentlichen Wolkenforschung ist es eben doch gelegen, die feineren morphologischen Details auch immer durch besondere Namen auszuzeichnen. Doch hat diese Verfeinerung der Bezeichnungsweise eigentlich nur für die Zirruswolken eine höhere Bedeutung; nach Ley sind die Schweifwolke, die Drahtwolke, die Schleierwolke und die Schäfchenwolke die besonders typischen Unterarten von Zirrus. Von Ley haben wir auch erfahren, dass die genauere Kenntnis der Wolken sowohl für die Wetterprognose als auch für die Erweiterung unseres theo-

*) Howard, Essay on the Modifications of Clouds, London 1803 (neu aufgelegt ebendaselbst 1865).

**) Unsere Figurentafel ist eine Reproduktion derjenigen, welche van Bebbers trefflichem »Handbuch der ausübenden Witterungskunde« (2. Teil, Stuttgart 1886) beigegeben ist. Eine unter dem künstlerischen Gesichtspunkte noch höher zu schätzende, auch die Farbentöne getreu wiedergebende Abbildung aller Haupt- und Unterformen brachte seinerseits das »Archiv der deutschen Seewarte« in seinem ersten Jahrgang.

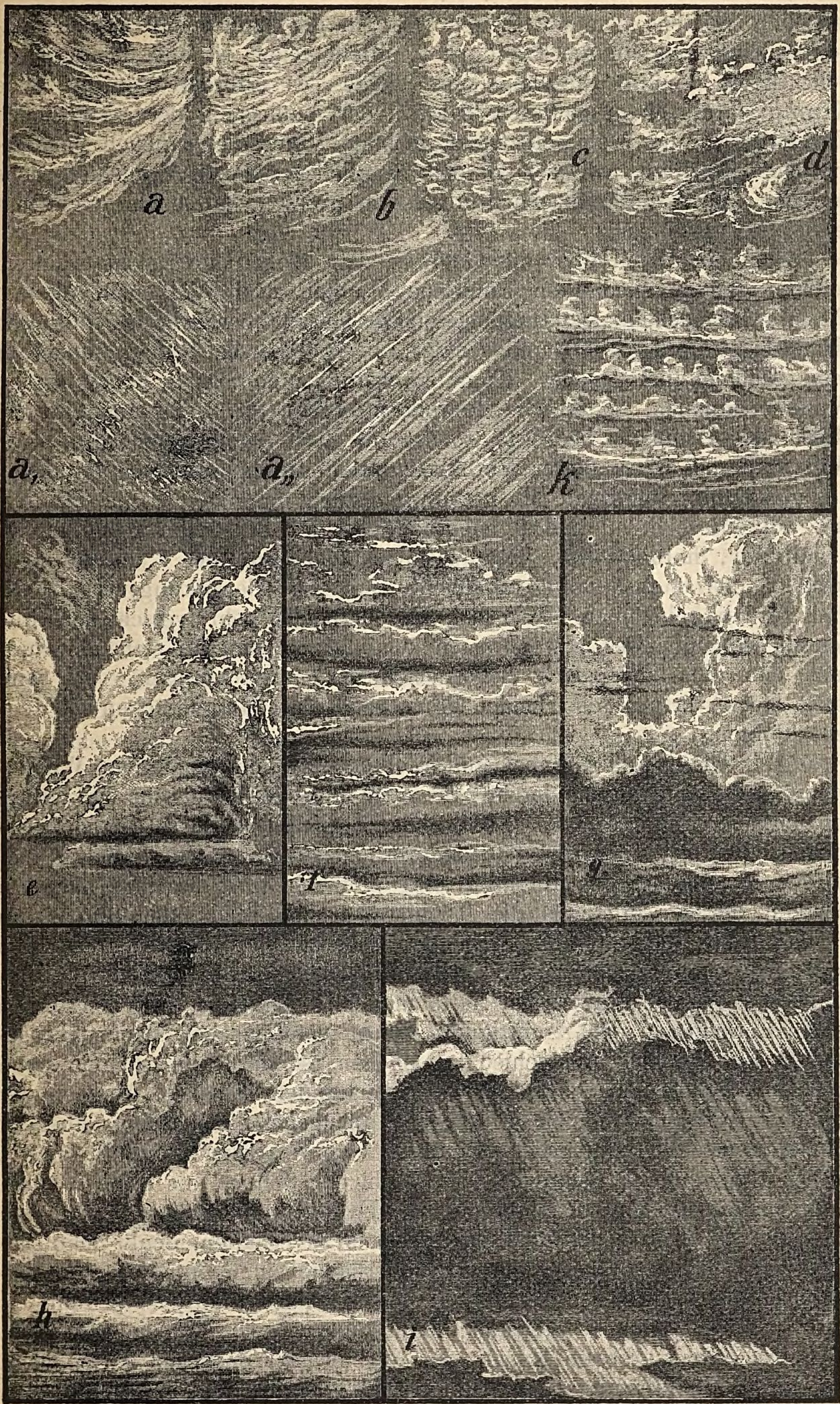


Fig. 4.

retischen Wissens von den Bewegungen in der Atmosphäre manch wertvollen Fingerzeig an die Hand gibt, allein leider ist auf der anderen Seite dieses Studium durchaus kein leichtes, es erfordert weniger solide Kenntnisse als einen gewissen Takt in der Auffassung der gestaltlichen Verhältnisse, und Ley selbst, der geistige Vater dieser neuen meteorologischen Disziplin, sah sich zu dem ziemlich pessimistischen Ausspruche bewogen: »Die Wolkenbeobachtung ist in grossem Masse eine nicht mitteilbare Kunst.«

Um ein Urteil über die Grösse der Bewölkung zu erhalten, addiert man in Gedanken sämtliche Wolken und Wölkchen, die am Firmamente erscheinen, zusammen, setzt die Gesamtoberfläche des sichtbaren Himmelsgewölbes = 10 und schätzt ab, welche Zahl dann ungefähr dem Flächeninhalte jener Kumulativwolke entspricht. Fehlt es an Wolken gänzlich, so ist die Bewölkungsgrösse = 0, ist ungefähr die Hälfte des Himmels bedeckt, so ist die Zahl 5 zu nehmen u. s. w. Will man den Wert dieser Verhältniszahlen durch Beiwörter charakterisieren, so kann man mit Mohn etwa sagen, dass bei 1 der Himmel fast wolkenlos, bei 2 und 3 leichtbewölkt, bei 4 beinahe halbklar, bei 5 halbklar, halbbewölkt, bei 6 ziemlich umzogen, bei 7 und 8 stark bewölkt, bei 9 fast völlig umdüstert ist. Die Bewölkungsverhältnisse sind für die einzelnen Teile der Erdoberfläche sehr verschieden und richten sich überdies sowohl nach den Jahreszeiten an sich als auch nach den die Jahreszeiten beherrschenden Luftströmungen. Es wird somit hievon erst in den beiden klimatologischen Hauptstücken die Rede sein können.

Wir wissen, dass Nebel und Wolken Ansammlungen von Wasserdampf sind, und damit haben wir auch den Schlüssel zur Erklärung von Regen und Schnee. Die eine oder andere Niederschlagsform ergibt sich nämlich stets dadurch, dass der in der Wolke enthaltene Wasserdampf sich rasch und plötzlich verdichtet; je nachdem während dieses Vorganges die Temperatur sich über oder unter dem Gefrierpunkte hielt, erhält man den Niederschlag entweder in dem tropfbarflüssigen Zustande des Regenwassers oder in dem festen des Schnees. Bis vor kurzer Zeit hatte man sich gewöhnt, zwischen diesen beiden Formen bei der Anfertigung der meteorologischen Beobachtungstabellen gar keinen Unterschied zu machen, sondern, da sich ja doch auch der Schnee sehr bald in Wasser verwandelt, blos die Mengen der aus der Luft stammenden Flüssigkeit anzugeben; neuerdings aber ist man, hauptsächlich unter dem Einflusse von Woeikow und C. Lang, zu der Überzeugung gelangt, dass auch der Schnee als solcher einen nicht unwesentlichen meteorologischen Faktor repräsentiere. Um ein Mass für die Menge des gefallenen Regens zu erhalten, denkt man sich auf der als eben vorausgesetzten Erdoberfläche einen Quadratmeter abgegrenzt und darüber ein grades rechtwinkliges Parallelepipedum — natürlich oben offen — errichtet; dann gibt man in mm die Höhe an, bis zu welcher in diesem Kasten das Regenwasser gestiegen wäre, wenn ihm durch Verdunstung oder Abfluss nichts verloren ginge, und indem man so die Regen- oder Niederschlagshöhe normiert, hat man in Gemässheit der zwischen den Mass- und Gewichtseinheiten des metri-

schen Systemes bestehenden engen Beziehungen auch das Niederschlagsquantum gemessen (s. u.). Die Anzahl der Millimeter deckt sich nämlich mit der Anzahl der Liter Regenwasser, welche fielen.

Während die äussere Form des herabfallenden Regentropfens sowie seine Grösse nur in Ausnahmefällen geeignet ist, die Teilnahme des Forschers auf sich zu ziehen*), ist man schon seit Keplers Zeit, und wesentlich eben auf ein von ihm über diesen Gegenstand verfasstes Schriftchen hin**), auf die Schneeflocke aufmerksam geworden. Verschiedene Bücher (z. B. Tyndall) gewähren uns einen Überblick über die sehr verschiedenen Gestalten, welche ein Schneestern annehmen kann, allein schon bei oberflächlicher Betrachtung erkennt man, dass als Grundgebilde immer wieder das regelmässige Sechseck erscheint; unter den ausserordentlich umfassenden Zeichnungen von Schneeflocken, welche man dem Holländer Engelman verdankt, begegnet uns nur ein einziges Fünfzack unter tausenden von Sechszacken. Die gründlichsten Studien über Schnee kann man begreiflicherweise in den kalten Ländern machen, und der Nordpolfahrer Scoresby ist es denn auch gewesen, der uns viele neue und bei uns gar nicht vorkommende Modifikationen des Schneesterntypus kennen lehrte. Jene Eisblumen, welche man an den überfrorenen Fensterscheiben unserer Zimmer häufig beobachtet, sind, wie Mairan schon in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts nachwies, durch einen der Schneeflockenbildung ganz analog verlaufenden Vorgang entstanden.

Viele Gegenden unserer Erde sind unaufhörlich mit Schnee bedeckt. Je näher man den Polen kommt, umso grösser gestaltet sich der in der Form von Schnee niederfallende Prozentsatz des Gesamtniederschlages, und ein gleiches Verhalten tritt, da die Wärme mit der Entfernung vom Erdboden progressiv abnimmt, auch auf höheren Bergen ein. Der grösste Teil des im Winter gefallenen Schnees wird in den milderen Jahreszeiten von der Sonne weggeleckt, doch muss einmal der Punkt erreicht werden, in welchem die aufthauende Kraft der Sonne diese Aufgabe nicht mehr ganz zu bewältigen vermag, uud wenn man alle die so gekennzeichneten Punkte am Abhang einer Gebirgskette durch einen Linienzug mit einander verbindet, so hat man die sogenannte Schneegrenze, die also natürlich unter niedrigen Breiten ziemlich hoch liegt, unter höheren Breiten aber sehr tief herabsteigt. Dass wir übrigens noch immer nicht in der Lage sind, eine allen wissenschaftlichen Anforderungen genügende Definition des Begriffes Schneegrenze aufzustellen, ist erst vor kurzem von Ratzel nachgewiesen worden.***) —

*) Im allgemeinen muss dem frei in der Luft schwebenden Wassertröpfchen die rein sphaerische Form zugesprochen werden, beim Falle plattet es sich infolge des Luftwiderstandes nach Scholz (De figura guttae cadentis in aëre resistente, Breslau 1826) sphaeroidisch ab. Ungewöhnlich gross erscheinende Tropfen sind wohl in vielen Fällen nichts anderes als geschmolzene Hagelkörner (s. Meteorologische Zeitschrift, 1. Jahrgang. S. 283 ff.)

**) Kepler, Strena seu de nive sexangula, Frankfurt a. M. 1611.

***) Ed. Richter will mit Rücksicht auf Ratzels Kritik eine klimatologische und eine orographische Firnlinie unterschieden wissen. Erstere ist jene Grenze, oberhalb deren, die Verhältnisse mögen sonst gelagert sein, wie sie wollen, der Firn vermöge der niedrigen Lufttemperatur nicht mehr

Periodische Schneeströme, deren Bewegung für gewöhnlich dem Fliessen eines Wasserlaufes ähnelt und nur bei ganz besonderen Terrainverhältnissen in einen jähen Absturz übergeht, heissen Lawinen; sie rücken soweit fort, bis der Anfang des Schneestromes, der »Kopf«, an ein unübersteigliches Hindernis gelangt ist. An dieser Stelle bildet sich der Lawinenkegel, welcher im Sommer schmilzt und die von der Lawine mit fortgerissenen Fremdkörper wieder ausstösst. — Der Schnee höherer Gebirgsregionen ist eine mehlige trockene Masse (Hochschnee, »neige poudreuse«), eine feinkörnige Mischung von Eis und Luft, welche sich auch leicht, sei es nur oberflächlich, sei es durch die ganze Masse hindurch, in wirkliches Eis verwandelt. Je geringer die Meereshöhe ist, um so kürzere Zeit dauert es, bis frisch gefallener Schnee in eine feste gekörnte Masse übergeht, in den sogenannten Firn (»névé«). Durch inneren Druck erhärtet eine Firnmasse bald zu Firneis, welches aber schon in seinem äusseren Ansehen deutlich erkennen lässt, dass es nicht mit dem aus flüssigem Wasser durch Gefrieren hervorgegangenen Eise identisch ist, und dieses Firneis wieder unterliegt einem in seinen Einzelstadien noch nicht genügend erforschten Umbildungsprozesse, durch welchen es in das eigentliche Gletschereis übergeführt wird. Dieses Eis wird durch ein Netz von Kapillarspalten, dessen Verzweigung zuerst Agassiz durch Einträufelung geeigneter Flüssigkeiten ersichtlich zu machen gesucht hat, in einzelne »Gletscherkörner« zerlegt. Der Gletscher ist ebensowenig etwas stabiles, wie etwa eine Wolke (s. o.); an seinem oberen Ende wickelt sich ununterbrochen der Vorgang der Umwandlung von Schnee in Eis ab, und an seinem unteren Ende geht ebenso unaufhörlich gefrorenes in flüssiges Wasser durch Schmelzung über, während der Gletscherkörper in nahezu stetiger, obschon keineswegs gleichförmiger Bewegung thalabwärts rückt. Die Art der Bewegung ist völlig diejenige einer dickflüssigen Masse, welche durch Zug sofort in ihrer Konsistenz beeinträchtigt wird, gegen Druck dagegen vermöge ihrer Plastizität sich ganz neutral verhält. Indem ein Gletscher durch eine Thalmulde hindurch sich fortbewegt, lässt er sowohl an den Bergrändern als auch an der Thalsohle untrügliche Spuren seiner dereinstigen Anwesenheit zurück, unter denen geschrammte und abgeglättete Gesteinsflächen (Rundhöcker, nach Saussure »roches moutonnées«) die untrüglichsten Kennzeichen abgeben. Man pflegt ein Territorium, welches sich dem kundigen Auge des in der glazialen Geologie bewanderten Forschers als altes Gletscherbett darstellt, als Moränenlandschaft zu bezeichnen, und auch vom meteorologischen Standpunkte aus ist es erwünscht, recht genaue Kriterien für den eigenartigen Charakter solcher vormals übereister Gegenden zu besitzen.*) Das dritte

wegschmelzen kann. »Die orographische Firnlinie ist die Linie, welche die Gruppen der im Schutze von Lage, Bodengestalt und Bodenart vorkommenden Firnfelder und Firnflecken verbindet.« Selbstverständlich schliesst auch der von der klimatischen Schneegrenze umzogene Raum noch viele schneefreie Stellen ein; dieselben finden sich überall da, wo die Neigung der Gehänge eine allzu steile ist.

*) Ein kompendiarisch angelegtes Lehrbuch des jüngsten Zweiges der Geologie gibt es nicht, doch ist auch ein solches weniger von nöten, da in mehreren Monographien die Hilfsmittel ausführlich beschrieben sind, deren man

Hauptstück wird uns da, wo von Klimaschwankungen in geologischer Vorzeit die Rede sein muss, auf diesen Gegenstand wieder zurückführen.

Schon die vulgäre Sprache teilt die Regenfälle ein in die mehr chronischen, oft Tage hindurch andauernden aber dafür auch aller optischen und akustischen Begleitumstände baaren Landregen und in die akuten, von mehr oder minder heftigen elektrischen Entladungen gefolgten Gewitter. So oft ein solches im Anzuge ist, bemerkt man, dass die Kumulostratuswolken, welche in diesem Falle einen grossen Teil des Himmelsgewölbes bedecken, an ihrer Unterfläche eine eigentümliche, graublaue Färbung annehmen; es bildet sich die mit Elektrizität geladene Gewitterwolke, welche nach und nach die sonderbarsten Farbenspiele aufweisen kann. Der Entladungsvorgang wird uns erst im nächsten Hauptstück beschäftigen. Vorerst interessiren uns nur die körperlichen Ausscheidungen, welche neben dem Regen von Gewitterwolken stammen und zur Erde fallen.

Wenn die unteren Schichten der Atmosphäre noch mehr durchkältet sind als jene oberen, in welchen das Regenwasser zu Schnee gerann, so kann es sich ereignen, dass beim Durchziehen jener unteren Partien die Schneekryställchen rasch an Grösse zunehmen und in der Form von Eisklümpchen am Erdboden anlangen. Dieser Eisregen ist wohl zu unterscheiden von dem Graupelfall. Graupeln sind kugelförmige, undurchsichtige Schneebälle, die zumal im Frühjahr und Herbst häufig beobachtet werden; sie haben durchschnittlich etwa Erbsengrösse, und es ist bei ihnen der Gefrierprozess noch kein vollkommen abgeschlossener. Wenn der Schnee sich nicht nur geballt, sondern teilweise auch bereits in Eis verwandelt hat, so nennt man die Ankömmlinge Schlossen; sie sind der warmen Jahreszeit eigentümlich. Von Hagel im engeren Sinne darf erst dann gesprochen werden, wenn die niederfallenden Körner zum überwiegenden Teile aus Eis und nur zum kleineren Teile aus Schnee bestehen; Hagelkörner besitzen auch nur in den seltensten Fällen jene rein sphärische Gestalt, welche die Graupeln auszeichnet, sie sind häufig ellipsoidisch, und zwar in der Art, dass man im inneren verschiedene ähnliche und ähnlich liegende Ellipsoide von verschiedener Farbe und Dichtigkeit unterscheidet, sie können aber auch pyramidal, polyedrisch und sogar pilzförmig sein. Unsere Fig. 5 vergegenwärtigt uns nach J. Müller ein charakteristisches Hagelkorn in halber natürlicher Grösse*); noch kompliziertere Krystallbildungen bemerkte

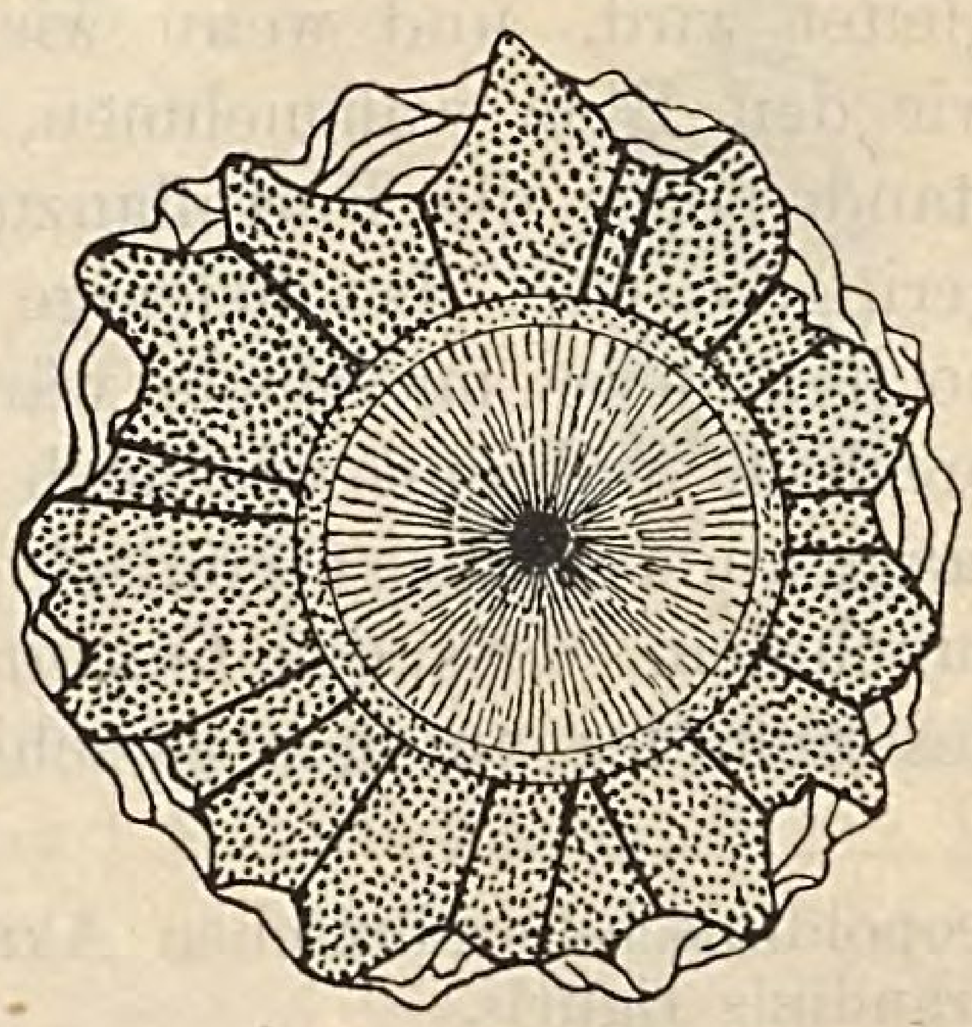


Fig. 5.

sich bei der Aufspürung praehistorischer Gletscherwirkungen zu bedienen hat. Weitaus am besten geeignet für solchen Zweck ist Pencks »Vergletscherung der deutschen Alpen, ihre Ursachen, periodische Wiederkehr und ihr Einfluss auf die Bodengestaltung« (Leipzig 1882).

**) Die ersten Mitteilungen über Hagelkörner in morphologischer Beziehung gab der Nürnberger Arzt Wurfbain in seinem 1686 in den Schriften der

Abich bei Hagelfällen im Kaukasus. Doch ist es wohl statthaft, sehr häufig in den Hagelsteinen nur die Trümmer ursprünglich kugelrunder oder elliptischer, aber zerplatzter Eisstücke zu erblicken, wie dies Delcros näher ausführt. Über die Grösse der Körner sind die ungereimtesten Behauptungen im Schwunge, doch ist selbst die verhältnismässig vertrauenswürdigste Angabe, in Texas sei ein Eisblock von 40 Kilogramm Gewicht aufgehoben und in einer Umhüllung von Sägespänen lange Zeit unversehrt erhalten worden, manchem berechtigten Zweifel ausgesetzt. Die Hagelwolke weicht von der gewöhnlichen Gewitterwolke darin ab, dass an der Nimbuswolke haken- oder zungenförmige Fortsätze von weisslichem Glanze hervortreten. Man hat ehedem ganz allgemein geglaubt, dass es nur bei Tage und niemals auch bei Nacht hagle, allein vor genauerer Prüfung hat dieser Glaube nicht standhalten können. Dass kleinere Hagelschläge zur Nachtzeit häufig unbemerkt bleiben, versteht sich natürlich von selbst.

Wir können von unserer Charakteristik der allgemeinen Eigenschaften unserer Atmosphäre nicht scheiden, ohne auch ihrer Durchlässigkeit für Schallwellen Erwähnung zu thun. In erster Linie steht hier das Echo, dessen Wesen als Reflexionserscheinung zuerst von Cecco d' Ascoli im XIV. Jahrhundert klar erkannt worden ist. Manches ist bei dieser Erscheinung freilich auch heutigen Tages noch nicht so ganz erklärt, zumal die Vielfachheit des Reflexes, welche in einzelnen Fällen, etwa bei den bekannten Adersbacher Felsen, beobachtet wird; selbst das gewöhnliche Waldecho setzt der Erklärung Schwierigkeiten entgegen, da es ja doch an einer reflektierenden Fläche hier fehlt.

Das Rollen des Donners legte sich eine frühere Zeit in der etwas naiven Weise zurecht, dass die elektrische Entladung die Wolke wirklich zerreisse, und dass die beiden Bestandteile der zerrissenen Wolke mit grosser Gewalt wieder zusammenschlügen. Wir wissen aber jetzt, dass jede Entladung an und für sich von einer Schallerscheinung begleitet wird, und wenn wir mithin den Donner weit später hören, als wir den Blitz wahrnehmen, so liegt dies einzig und allein an dem Umstande, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles eine weitaus geringere ist, als diejenige des Lichtes. Allerdings würde, wenn nicht noch anderes im Spiele wäre, der Donnerschlag dann kurz und jäh abbrechen, während wir doch an ein mit abnehmender Intensität ziemlich lange andauerndes Geräusch gewöhnt sind. Nach Reis (s. u.) haben wir anzunehmen, dass das Gepolter des Donners von den Zurückwerfungen des Schalles an den verschiedenen Grenzflächen der Wolken herrührt.*)

leopoldinisch-karolinischen Akademie abgedruckten Aufsatze »De admirandis grandinis figuris.«

*) Der berühmte elsässische Physiker Hirn charakterisiert Blitz und Donner, wie folgt: Das Geräusch, was wir Donner nennen, rührt daher, dass die Luft, durch welche ein elektrischer Funke, also ein Blitzschlag, hindurchschlägt, plötzlich auf eine sehr hohe Temperatur gebracht wird und infolge dessen ihr Volumen bedeutend vergrössert. Die in dieser Weise erwärmte und ausgedehnte Luftsäule ist oft sehr lang; da die Dauer des Blitzes nicht einmal ein Milliontel einer Sekunde beträgt, so folgt daraus, dass das Geräusch gleichzeitig von der ganzen Länge der Säule entsteht; für einen jeden beliebig aufgestellten Beobachter beginnt es dort, wo der Blitz am nächsten ist. Der Be-

Die Permeabilität der Atmosphäre für Licht und Schall ist eine durchaus verschiedene. Wenn die Luft stark mit Wasserdampf geschwängert ist, so besitzt sie bekanntermassen jenen hohen Grad von Durchsichtigkeit, welcher von Reisenden wegen der dadurch bedingten Grossartigkeit der Landschaftsbilder gewünscht, zugleich aber nicht ohne Grund als Vorzeichen baldigen Regenwetters gefürchtet wird. Gerade dann jedoch wirkt die Luft als akustische Wolke, sie verhält sich gegen die Schallstrahlen ganz ebenso, wie eine gewöhnliche optische Wolke gegen Lichtstrahlen, d. h. die Strahlen werden zum grossen Teile absorbiert und nur zum geringen durchgelassen. Akustische Trübung ist demnach gleichbedeutend mit optischer Klarheit, und optische Trübung ist gleichbedeutend mit akustischer Klarheit. Das hatten schon 1822 die französischen Gelehrten bemerkt, welche unter A. v. Humboldt's Auspizien auf der Hochebene von Villejuif bei Paris die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung massen, allein erst Tyndall hat 1873 durch eine Anzahl von Versuchen, zu denen er Nebelhornsignale verwendete, den Sachverhalt in dem Sinne festgestellt, wie wir soeben darlegten. —

Nachdem wir nunmehr von der Lufthülle unserer Erde alles gesagt haben, was ohne näheres Eingehen auf die dortselbst stattfindenden Bewegungsvorgänge gesagt werden konnte, ist es unsere nächste Aufgabe, die Beschreibung der meteorologischen Instrumente in Angriff zu nehmen. Unter ihnen ist das wichtigste und zugleich älteste das Thermometer, das Werkzeug zum Messen der Lufttemperatur. Das Altertum und Mittelalter musste sich, wenn Temperaturzustände unter einander verglichen werden sollten, mit ganz rohen Schätzungen behelfen, *) und erst zu Anfang des XVII. Jahrhunderts hatte sich die Notwendigkeit eines solchen Instrumentes mit einem male so entschieden fühlbar gemacht, dass eine Reihe von Gelehrtennamen mit der Erfindung desselben in Verbindung gebracht wird. Nach Libris, durch Wohlwill bestätigter Forschung ist Galilei der eigentliche Erfinder; er hatte das in Fig. 6 veranschaulichte Thermometer bereits 1597 konstruirt, aber erst 1603 gab er davon seinem Freunde Castelli Nachricht, und veröffentlicht hat er überhaupt niemals etwas über den Gegenstand. Dieser erste urkundlich nachweisbare Wärmemesser war also ein offenes Luftthermometer, je

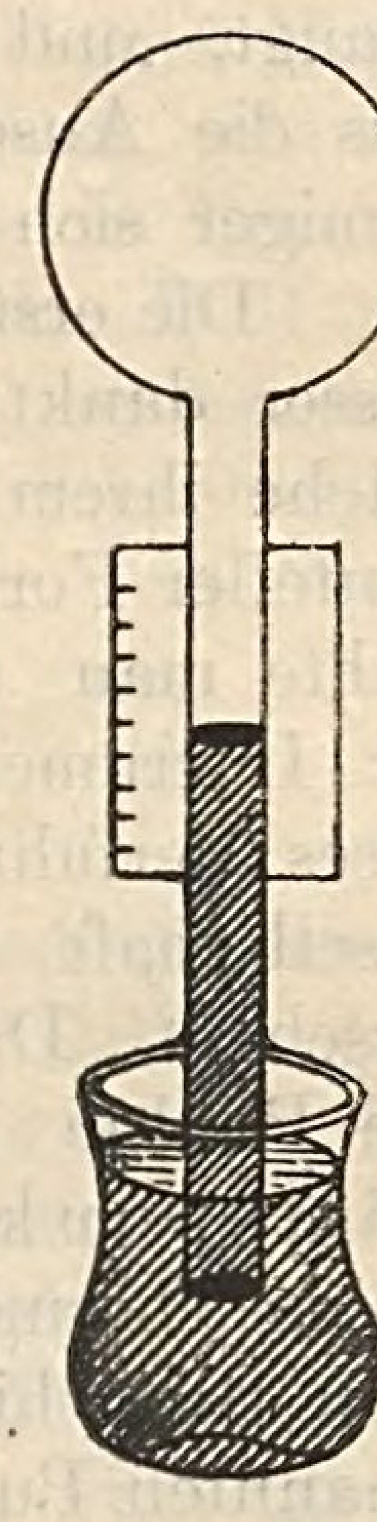


Fig. 6

ginn des Donnerschlags markiert den kleinsten Abstand des Blitzes und die Dauer des Donners liefert uns ein Mass für die Länge der in Mitleidenschaft gezogenen Luftsäule.

*) Dem Araber Alkhazîni, der in seinem „Buch von der Wage der Weisheit" die Wärme des Sommers mit derjenigen des Winters vergleicht, sagen Einige nach, er habe bereits eine thermometrische Vorrichtung gekannt. Ganz eigenartig war ein Vorschlag, den Kardinal Cusa um 1450 machte. Um die Insolationsstärke für zwei verschiedene Breitenkreise der Erde zu vergleichen, solle man gleiche Quantitäten der nämlichen Getreideart an beiden Orten säen, ernten, verbrennen und die Aschenmengen gegen einander abwägen.

nach der Ausdehnung der die Kugel erfüllenden Luftmasse stieg oder sank die Säule in der Röhre. Es liegt aber auf der Hand, dass dieser Apparat nicht sowohl ein Thermometer als vielmehr höchstens nur ein Thermoskop darstellt, denn offenbar kommt auch der Druck der Luft auf die freie Flüssigkeitsoberfläche mit ins Spiel, und zudem fehlt die Vergleichbarkeit der Instrumente. Als Flüssigkeit hatten die Italiener — denn ausser Galilei beteiligten sich noch mehrere seiner Freunde und Schüler an der Vervollkommnung des Werkzeuges*) — den Weingeist gewählt. Bald jedoch erkannte man, dass Quecksilber hiezu noch besser geeignet sei, und seit 1709 kamen denn auch die von dem Danziger Mechaniker Fahrenheit verfertigten Quecksilberthermometer mehr und mehr in Aufnahme. Doch wurde das Alkoholthermometer nicht etwa gänzlich aus dem Gebrauche verdrängt, vielmehr hat es sich bis auf den heutigen Tag als das für gewisse Zwecke geeignetste bewährt und namentlich in kalten Ländern, also z. B. bei Polarfahrten, erweist sich dasselbe als unentbehrlich, da der Gefrierpunkt des reinen, wasserfreien Weingeists ungemein tief gelegen ist.**) Umgekehrt verdient, wenn man mit starker Hitze zu rechnen genötigt ist, das Quecksilber unbedingt den Vorzug vor dem Alkohol, weil es ungleich später zum Sieden und Verflüchtigen gelangt, und ein zweiter Vorzug spricht sich in dem Umstande aus, dass die Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme weitaus gleichförmiger sich vollzieht als bei anderen Flüssigkeiten.***)

Die ersten Bemühungen um die Herstellung vergleichbarer Wärmemesser dankt man der florentinischen „Accademia del cimento“, welche ihrem Namen gemäss ausschliesslich zur Verbesserung experimenteller Forschungsmethoden ins Leben gerufen worden war. Zunächst suchte man sich in der Weise zu helfen, dass man die Verfertigung der Instrumente ganz nach einheitlichen Grundsätzen regelte, allein dieses Verfahren war nur ein Notbehelf, und zudem vermochte die Eine Gesellschaft doch nicht alle Interessenten mit ihren Erzeugnissen zu versehen. Da war es Amontons, der zuerst darauf hinwies, dass fixe Punkte auf der Thermometerröhre markiert werden sollten, ein Kältepunkt und ein Siedepunkt. Doch ging Fahrenheit, dessen Thermometer zuerst diesen Gedanken in einer nach der konstruktiven Seite hin untadeligen Weise verwirklichten, hinsichtlich des erstgenannten Punktes von einer falschen Voraussetzung aus, indem er eine Mischung von Schnee und Salmiak als das Kältemittel betrachtete, dessen Temperatur zugleich dem unteren Normalpunkt seines Thermo-

*) Sagredo schrieb im Jahre 1613 an Galilei, er habe dem neu erfundenen Apparate zur Wärmemessung eine bequemere Form gegeben.

**) Nach Natterer und Faraday wird solch rarefizierter Weingeist bei der sehr niedrigen Temperatur von — 166° erst dickflüssig, noch nicht aber fest, so dass also erst eine teilweise Änderung des Aggregatzustandes stattfindet.

***) Abgesehen von der Thatsache, dass auch beim Quecksilber die Volumgleichheit der z. B. durch die Erwärmung von 4° auf 5° oder durch die Erwärmung von 11° auf 12° zu der bereits vorhandenen Säule neu hinzukommenden zylindrischen Stücke keine ganz absolute ist, muss man auch daran denken, dass der Durchmesser der Röhre aus dem Prozesse des Glasblasens nicht wohl als ein überall gleichförmiger hervorgegangen sein kann. Gay-Lussac zeigte, wie dieser Fehler zu erkennen und rechnerisch auszumerzen ist (s. u.).

meters entsprechen sollte. Richtiger urteilte Reaumur; er setzte das Volum des Wassers in dem Augenblicke, in welchem es zu gefrieren sich anschickt, = 1000 und fand dann durch seine Versuche, dass im Momente des Siedens das Volum desselben Wasserquantums durch die Zahl 1080 ausgedrückt werden müsse; indem er also auf der Röhre den Gefrier- und Siedepunkt durch eingeritzte Striche markierte, hatte er eine Distanz, welche er dem gesagten zufolge am schicklichsten in 80 gleiche Teile oder Grade einteilen zu sollen vermeinte. Der Schwede Celsius, der 1742 mit seinen Vorschlägen zur Graduierung der Thermometer hervortrat, hielt sich blos an Reaumurs Fundamentalpunkte, während er von der Zahl 80 absehen und ihr dafür die bequemere, an und für sich jedoch weit willkürlicher gewählte Zahl 100 substituieren zu sollen glaubte. Es waren ihrer Zeit auch noch andere Skalen im Umlauf, so von Delisle, Hales, Micheli du Crest, Hanow, Deluc u. a., aber dauerhaft haben nur die drei sich erwiesen, welche heute noch nach ihren Erfindern als die Fahrenheitsche, Reaumursche und Celsiussche bezeichnet werden. Erstere ist in allen Ländern englischer Zunge die allein gebräuchliche, nach Reaumur richtet sich heute noch die Praxis des gewöhnlichen Lebens, sowie die Arzneiwissenschaft, allein nur die schwedische Skale ist von der Physik und Meteorologie adoptiert worden, und zwar so übereinstimmend, dass, wenn in diesem Buche von einem Thermometer und dessen Graden die Rede ist, darunter ganz von selbst das hundertteilige verstanden wird. Will man von der einen unserer drei Skalen zur anderen übergehen, so hat man eine einfache Umrechnung vorzunehmen, wie sie durch die nachstehenden Formeln angedeutet ist:

$$R = {}^4/_5\, C \quad , \quad R = {}^4/_9\, (F - 32);$$
$$C = {}^5/_4\, R \quad , \quad C = {}^5/_9\, (F - 32);$$
$$F = {}^9/_4\, R + 32 \quad , \quad F = {}^9/_5\, C + 32.$$

Zeigt ein englisches Thermometer also z. B. 50^0, so zeigt ein Reaumur-Thermometer ${}^4/_9 \cdot 18^0 = 8^0$ und ein Celsius-Thermometer ${}^5/_9 \cdot 18^0 = 10^0$.

Jedes Thermometer muss vor dem Gebrauche auf seine Genauigkeit geprüft, es müssen hiebei die an seinen Angaben etwa anzubringenden Korrektionsgrössen ermittelt werden. Wenn, wie gewöhnlich, Weingeist oder Quecksilber die Füllflüssigkeit ist, so eignet sich ein Luftthermometer am besten zur Vergleichung, weil atmosphärische Luft eine sehr gleichförmige Ausdehnung besitzt. Auf die eigene Ausdehnung des Glases, aus welchem die Röhre des Wärmemessers besteht, ist ebenfalls Rücksicht zu nehmen, und insbesondere ist auch darauf zu achten, dass die Röhre genau zylindrisch sei. Um hierüber Klarheit zu erhalten, trennt man mit Hilfe des Lötrohres von dem Quecksilberfaden, der die Röhre erfüllt, ein Stück von beliebiger Länge ab und lässt dasselbe hin- und herwandern. Fügt sich das Messtück allenthalben zwischen zwei aequidistante Teilstriche ein, so ist die Kalibrierung eine zuverlässige; andererseits muss man sich der von Bessel angegebenen Korrektionsformeln bedienen.

Hat man nun die Ueberzeugung gewonnen, dass das Instrument, welches man zu meteorologischen Beobachtungen zu verwenden gedenkt, allen Ansprüchen gerecht werde, so steht man vor der weiteren und

schwierig zu beantwortenden Frage, unter welchen Umständen das Thermometer die wahre Lufttemperatur angebe. Dass die Thermometerkugel sowohl vor direkten als auch vor reflektierten Sonnenstrahlen möglichst geschützt sein müsse, versteht sich von selbst, auch darf darauf kein allzu lebhafter Luftzug einwirken, und ebensowenig sollte die benachbarte Luft im Zustande völliger Stagnation sich befinden. Wenn man sich mit einem blos angenäherten Resultate begnügen darf, so ist ein solches leicht erhältlich, da nach Lamonts auf den ersten Blick sehr paradox erscheinender Wahrnehmung ein über einem Grasplatze vollkommen im Freien aufgehängtes und somit allen möglichen dem Anscheine nach schädlichen Einwirkungen ausgesetztes Thermometer eine Temperatur angibt, welche von der im Schatten gemessenen selten um mehr als um einen halben Grad abweicht. Auf dem gleichen Prinzipe beruht das viel gebrauchte, zuerst von Saussure erwähnte Schleuderthermometer; das Instrument wird an einem Faden befestigt und mehrmals im Kreise herumgeschwungen, worauf es gleichfalls auf einem von der Schattentemperatur nicht sehr verschiedenen Stande stehen bleibt. Für exakte Messungen reicht freilich ein solches Verfahren nicht aus. Die Mehrzahl unserer meteorologischen Stationen bedient sich der von Wild in Vorschlag gebrachten Blechgehäuse, deren Einrichtung uns Fig. 7 vor Augen stellt; das kegelförmige Hauptdach a wird von dem kleineren, aber nicht minder konischen Schutzdache b dergestalt überdeckt, dass zwischen a und b noch ein freier Zwischenraum verbleibt. Die Vorderseite ist durch eine — in der Zeichnung weggelassene — Thüre verschlossen, welche nur im Momente der Ablesung geöffnet wird. Die durchbrochenen Seitenwände werden jeweils durch ein vorgeschobenes Schutzblech c gesichert. Die Vorrichtung ist an der Nordseite eines Hauses befestigt, und da diese im Sommer sowohl von der Morgen- wie von der Abendsonne direkt bestrahlt wird, so sind noch besondere Vorsichtsmassregeln gegen diese Insolation zu treffen, was am besten dadurch geschieht, dass man das Zinkblechgehäuse noch in eine besondere Holzhütte einschliesst. Da aber von beachtenswerter Seite auch gegen dieses Schutzsystem Einwürfe erhoben wurden, so sah sich Wild veranlasst, das Problem der Bestim-

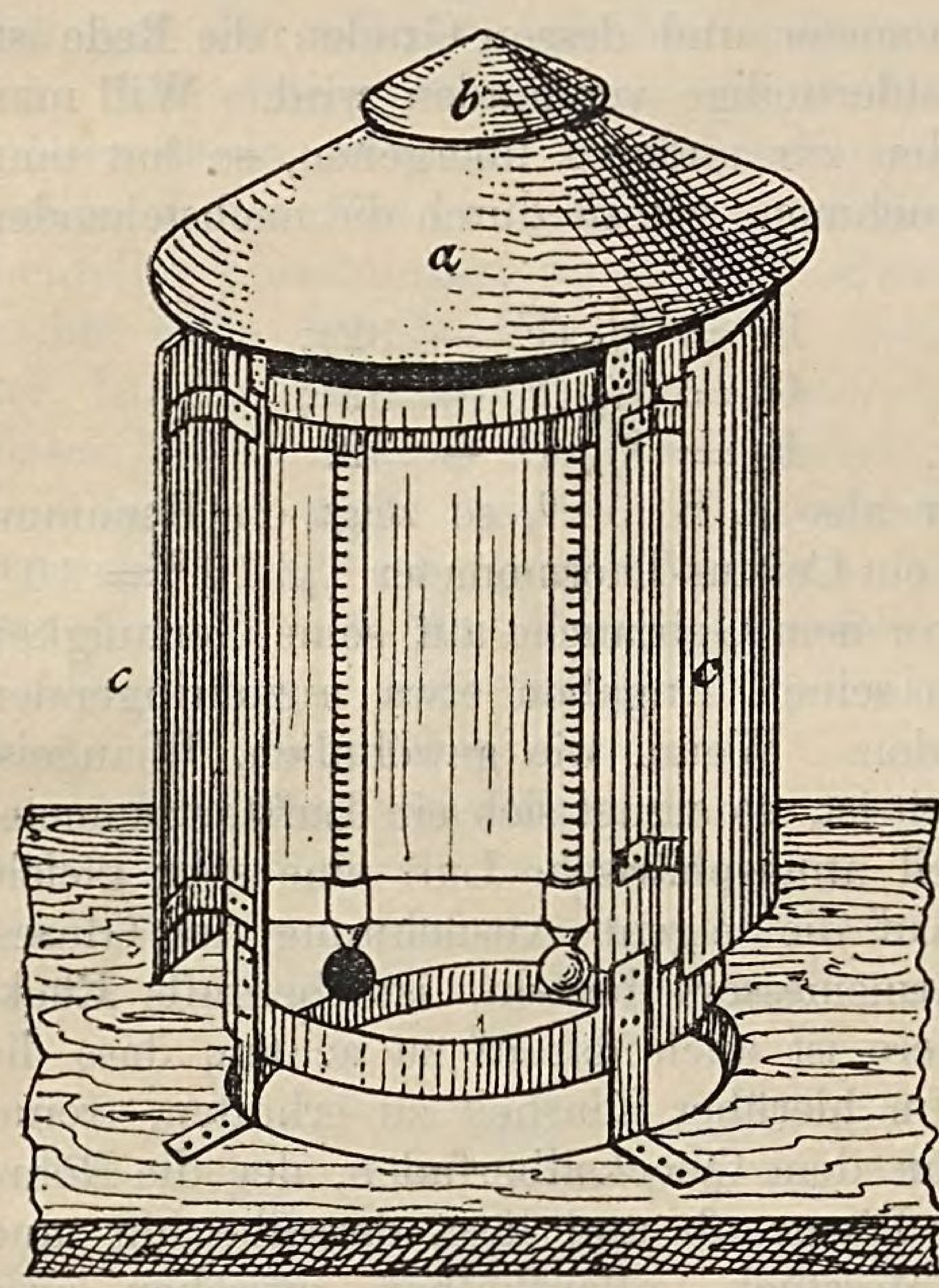


Fig. 7.

mung der wirklichen Lufttemperatur noch einmal von Grund aus zu behandeln. Die Polemik zwischen Wild und dem Amerikaner Hazen bietet des interessanten viel; der letztere war der Ansicht, dass das Schutzhäuschen eine bei Tage über die wahre Luftwärme hinausgehende Temperatur hervortreten lasse, allein Wild wies dem gegenüber nach, dass seine Umhüllung den Effekt der Wärmestrahlung der Umgebung mindestens auf den 10. Teil des ohne Gehäuse zu beobachtenden Betrages herabdrücke. Nur die Eine Konzession ward von Wild gemacht, dass die Ruhe der Luft in seinem Schutzhäuschen eine vielleicht zu grosse sei, doch könne man diesem Fehler dadurch leicht abhelfen, dass man den bisherigen Boden durch einen Ventilator, ein horizontales Rad mit schrägen Blechschaufeln, ersetze; dieses Rad sei dann durch eine Kurbel umzutreiben. Um ganz sicher zu gehen, ist Wild unlängst von neuem auf die gedachte Frage zurückgekommen, indem er den Messapparat bedeutend verbesserte; er liest jetzt gleichzeitig den Stand zweier Thermometer ab, deren eines eine blanke, deren zweites eine geschwärzte Kugel hat, und berechnet aus diesen beiden Daten die Lufttemperatur mittelst einer sehr einfachen Relation, welche er zu dem Ende besonders hergeleitet hat.

Für viele Zwecke ist es wünschenswert, nicht sowohl den gesamten Temperaturgang für einen gewissen Zeitraum als vielmehr blos die extremen Temperaturen kennen zu lernen, welche in der fraglichen Zeit erreicht worden sind. Instrumente, welche eine derartige Ablesung ermöglichen, führen den Namen Maximum- und Minimumthermometer oder Thermometrographen. Von den zahlreichen Kombinationen dieser Art verdient wohl das Sixsche Thermometer mit den von Rutherford daran angebrachten Vervollkommnungen den entschiedenen Vorzug, wie es denn auch von klimatologischen Stationen fast ausschliesslich benützt wird. Fig. 8 versinnlicht den einfachen Gedanken, welcher der Konstruktion zugrunde liegt. Wir sehen auf einem Brettchen, welches vertikal an der Wand aufgehängt zu denken ist,

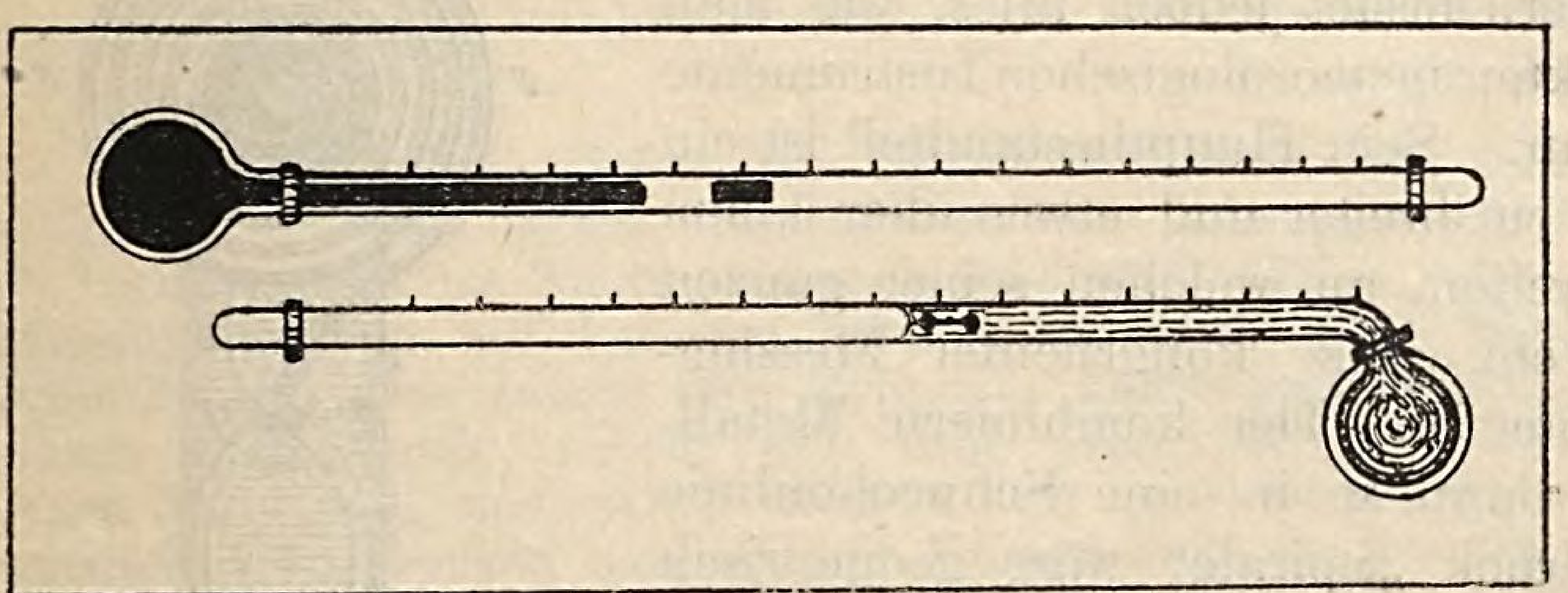


Fig. 8.

zwei Thermometer, deren Röhren eine horizontale Lage annehmen, befestigt. Das obere Thermometer (in unserer Figur) ist mit Quecksilber gefüllt, und es liegt zugleich in seiner Röhre ein kleiner Stahlstift, den man mit Hilfe eines Magnets beliebig verschieben und bei der Justierung des Apparates demnach auch so postieren kann, dass Quecksilbersäule und Stäbchen einander gerade berühren. Sobald erstere bei steigender Temperatur sich ausdehnt, schiebt sie den Stift vor sich her, und dieser bleibt also, da die sich wieder zusammenziehende Quecksilbersäule

ihn nicht mehr erreicht, genau an der Stelle liegen, welcher dem höchsten im festgesetzten Intervalle erreichten Temperaturstande entspricht. Während sohin das obere Thermometer das Wärmemaximum zum Ausdrucke bringt, markiert das untere ebenso das Wärmeminimum. Die Flüssigkeit ist diesmal Alkohol, der seiner starken Kohäsion halber den Vorzug hat; diese bewirkt es nämlich, dass am freien Ende der Weingeistsäule ein ziemlich starkes Oberflächenhäutchen sich bildet. Im Weingeist liegt ein Glasstäbchen von dunkler Färbung, an dessen beide Enden kleine Perlen angeschmolzen sind; erhöht sich die Temperatur, so geht die sich ausdehnende Flüssigkeit an dem Stäbchen vorbei, ohne es fortzutragen, sinkt dagegen die Temperatur, so schiebt die erwähnte Haut infolge der Adhäsion zwischen Weingeist und Glas das Stäbchen mehr und mehr zurück, und dasselbe muss demgemäss an dem Orte, welcher zur Zeit des niedrigsten Temperaturstandes erreicht war, liegen bleiben. Bei Six waren die beiden Thermometer nicht getrennt, und es haben auch Bellani und Bunten die ursprüngliche Sixsche Form in einer Weise verbessert, dass ihre Modifikation recht wohl mit derjenigen von Rutherford in Konkurrenz treten kann, allein beide Instrumente sind doch zu häufigen Störungen ausgesetzt, um auch für feinere Messungen noch als ganz brauchbar gelten zu können. In dieser Hinsicht werden die bisher beschriebenen Vorrichtungen unbestreitbar von den Metallthermometern übertroffen, allerdings erst in neuester Zeit, denn noch Schmid*) hatte von deren Brauchbarkeit eine sehr geringe Meinung. Damals kannte man zwar schon das Prinsep'sche Pyrometer, welches zur Messung ungewöhnlich hoher Temperaturen dient und auf einer Kombination mehrerer Metalleisten von verschieden grossem Ausdehnungskoeffizienten beruht, allein man sprach diesem Prinzipe keine besondere Zukunft zu.

Das in Fig. 9 abgebildete Maximum- und Minimumthermometer von Herrmann und Pfister in Bern leistet jedoch alles, was man von einem exakten meteorologischen Instrumente verlangen kann. Sein Hauptbestandteil ist ein 1 m langer, 1 cm breiter und etwas über 1 mm dicker Stahlstreifen, an welchen seiner ganzen Länge nach ein ganz kongruenter Messingstreifen angelötet ist. Der kombinierte Metallstreifen ward dann so in eine Schneckenlinie s — der Ausdruck „Spirale" wäre geometrisch zu beanstanden — gebogen, dass der Stahl aussen, das Messing innen sich befindet. Eine Vergoldung schützt gegen den Rost. Das innere Ende der Schnecke ist fest in den Metallzapfen a eingesetzt, das äussere Ende b ist frei beweglich. Eine Erhöhung der umgebenden Temperatur hat zur Folge, dass das

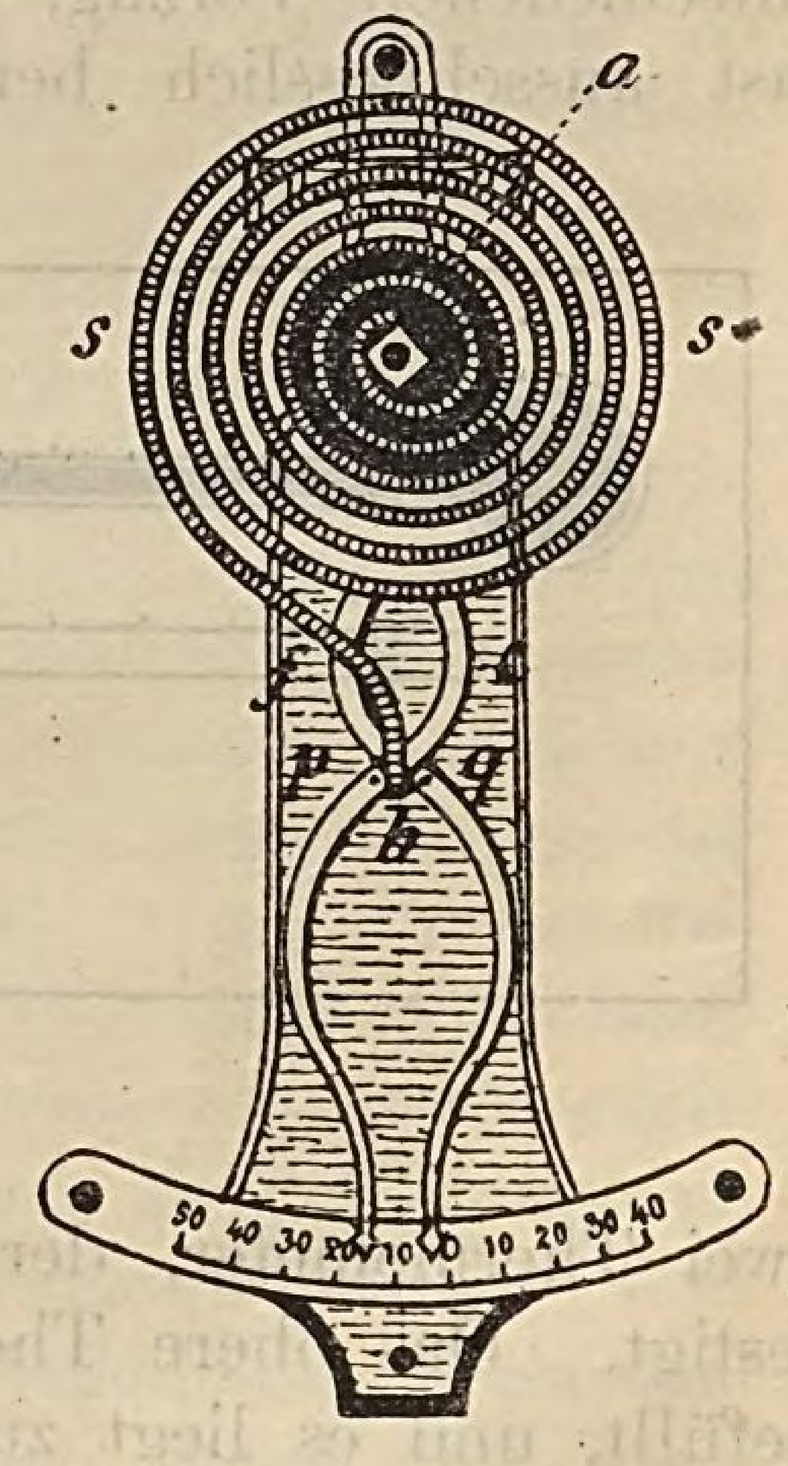


Fig. 9.

*) Schmid, a. a. O., S. 71: „Die verschiedenen Arten der Metallthermometer haben meteorologisch keine irgend bedeutsame Verwendung gefunden."

Messing sich stärker als der Stahl ausdehnt, und es wird sonach b nach links ausweichen, während bei abnehmender Temperatur der Sinn der Bewegung der entgegengesetzte sein wird. Besonders sinnvoll ist nun die Uebertragung dieser Bewegungen auf Zeiger ausgeführt. Von einem wenig unter a angebrachten Zapfen gehen die beiden gekrümmten Zeiger c und f aus, auf denen in gleichen Abständen vom Drehpunkt resp. die Stifte p und q angebracht sind. Die Zeiger selbst liegen hinter der Schnecke, die zwei Stifte dagegen ragen hinlänglich weit vor, um das freie Ende b fassen und fortschieben zu können. Unser Bild stellt das Instrument in dem Augenblicke dar, in welchem es für die Beobachtung hergerichtet wird, die Spitzen der beiden Zeiger treffen über einer geteilten Kreisskale zusammen und geben die bei der Justierung herrschende Temperatur an. Steigt die Temperatur, so drückt b an dem Stifte p so lange, bis das Maximum erreicht ist, dann bleibt c unverrückt stehen, und b schiebt den Stift q so lange weiter, bis der Zeiger f den Minimalstand notiert. Die Skale wird vor dem Gebrauche empirisch nach einem Quecksilberthermometer eingeteilt. Was diesem Apparate neben anderem seinen hohen Werth verleiht, ist die Leichtigkeit, mit welcher daran Reparaturen vorgenommen werden können.

Unter gewissen Umständen ist man genötigt, jenen Markierungsvorrichtungen den Vorzug zu geben, welche durch die Namen Miller-Casella und Negretti-Zambra gekennzeichnet sind. Insbesondere sind nach diesen Grundsätzen eingerichtete Thermometer für die Zwecke der submarinen Thermometrie im Gebrauche,*) doch hat Dove die zweitgenannte Konstruktion auch der Meteorologie dienstbar gemacht, und unter dem gleichen Gesichtspunkte werden wir uns bald wieder mit ihr zu beschäftigen haben. Das Thermometer von Miller-Casella ist im wesentlichen nur eine Verbesserung des oben besprochenen von Six, dagegen ist das Umkehrungsthermometer der beiden (in London lebenden) Italiener etwas durchaus originelles. Man kann mit demselben die Temperatur eines beliebig tief unter dem Wasserspiegel gelegenen Punktes bestimmen; will man z. B. wissen, wie warm

*) Für geringe Tiefen, wie sie bei Binnenseen die Regel bilden, bedarf es keiner so komplizierten Massnahmen, um doch gute Ergebnisse zu erzielen. C. Lang senkt das Thermometer in solchem Falle in einen Hohlzylinder aus Messingblech ein, auf den zum Schutze der Röhre ein besonderes Rohr aufgeschraubt ist. Das Innere des Zylinders kommuniziert mit der Wassermasse durch Kugelventile, welche sich beim Heraufziehen automatisch schliessen. Auch kann man, namentlich wenn es sich um Bodentemperaturen in Seen oder seichten Meeresbecken handelt, mit Nutzen sich des von H. A. Meyer angegebenen trägen Thermometers bedienen, eines gewöhnlichen Thermometers, welcher derart mit Hartgummi umgossen ist, dass er nur sehr langsam in die Wassertemperatur sich einstellt, dann aber dieselbe auch um so länger und sicherer beibehält. Viele Anerkennung wird sich gewiss mit der Zeit auch das Neumayer-Michaelissche System erwerben; durch eine Glühlichtlampe, welche samt einem Thermometer in ein ins Wasser eintauchendes Gehäuse eingeschlossen wird, wird die Röhre des Thermometers erleuchtet, und es bildet sich so auf photographischem Papier, welches sich von einer dem Thermometer parallel stehenden Walze in konstanter Umdrehung abwickelt, der Schatten der Quecksilbersäule ab. Die veränderliche Höhe dieser Säule kann unmittelbar abgelesen werden. — Näheres über unterseeische Wärmemessung sehe man nach in Krümmels Schrift „Der Ozean" (Leipzig-Prag 1886. S. 112 ff.).

es 100 m unter der Oberfläche ist, so senkt man das Werkzeug bis zur gewünschten Tiefe ein, bringt es dortselbst zum Umkippen und zieht es dann empor, um oben in aller Musse den dem Akte der Umdrehung entsprechenden Temperaturgrad abzulesen. Die Figur ist nach Folgendem leicht zu zeichnen. Die Thermometerröhre ist u-förmig gebogen, so jedoch, dass die Wölbung sich oben bei c befindet, bei a ist sie verengert, von c geht nach beiden Seiten hin eine langsam verlaufende Erweiterung aus. Das Thermometergefäss d ist selbst wiederum in eine mit Quecksilber gefüllte Glaskapsel e eingesenkt, um ersteres der direkten Einwirkung des mit der Tiefe stetig zunehmenden hydrostatischen Seitendruckes zu entziehen. Ehe zur Beobachtung geschritten wird, lässt man durch Neigung des Instrumentes alles Quecksilber in jene Seite der Röhre hinüberlaufen, auf welcher sich auch das Gefäss befindet. Nun senkt man den Apparat ins Wasser, lässt ihn an der Prüfungsstelle so lange ruhig stehen, bis das Quecksilber durch Leitung die Wärme der Umgebung angenommen hat, und zieht jenen dann wieder empor. Der erste Ruck in dieser Richtung veranlasst aber eine im Gestelle unter dem Thermometer angebrachte Schraube dazu, dem letzteren nach unten zu eine Drehung um 180 ^{0} zu erteilen, so dass es also von jetzt an, das unterste zu oberst gekehrt, im Meere schwimmt. Dadurch erhält jedoch auch das Quecksilber einen heftigen Stoss, es reisst bei der Verengung a ab und sammelt sich im anderen Schenkel, wo nunmehr b den höchsten Punkt markiert. Eine abermalige Drehung wird durch eine unverzüglich vorspringende Hemmung unmöglich gemacht.

Überblicken wir jetzt unsere bislang auf dem Gebiete der Thermometrie erworbenen Kenntnisse. Die gewöhnlichen Wärmemesser erheischen eine persönliche Kontrole des Ablesenden, die Thermometrographen zeichnen durch eigene Thätigkeit gewisse besonders wichtige Temperaturstände auf, aber auch nur eben diese und keine anderen. Schon seit geraumer Zeit fühlte man jedoch die Notwendigkeit, den Beobachter noch mehr zu entlasten; der Apparat sollte selbstregistrierend oder automatisch wirken und so, wenn er nur einmal in Gang gebracht war, ohne menschliches Eingreifen ein Bild von dem wirklichen Temperaturgange innerhalb eines gewissen Zeitabschnittes liefern. Auch hier ist noch ein Unterschied zu machen, je nachdem die Temperaturverzeichnung eine diskrete, lediglich gewisse gleichabständige Zeitpunkte markierende oder aber eine kontinuierliche sein soll. Im ersten Falle kann man sich bei Rungs Methode*) beruhigen. Um zu wissen, welches die Lufttemperatur am Schlusse einer jeden Stunde zwischen 8^h morgens und 8^h abends war, bringt man zwölf identische Negretti-Zambra-Thermometer (s. o.) in der Weise neben einander an, dass sie sämtlich um eine gemeinsame Achse drehbar sind; ein Uhrwerk lässt jedes Thermometer präzis zur bestimmten Zeit die uns bekannte Umdrehung machen. Immerhin würde dieses Verfahren, graphisch ausgenützt, uns von auffallenden Temperatursprüngen, welche etwa in der Zwischenzeit zwischen zwei Umkippungen sich ereignet hätten, keinerlei Rechenschaft verleihen können, und es ist deshalb als

*) Rung, Selbstregistrierende meteorologische Instrumente, Kopenhagen 1885.

ein Fortschritt zu betrachten, wenn es gelingt, den Apparat so vorzurichten, dass er selbstthätig die ganze Temperaturkurve aufzeichnet. In Kew (England) und Zi-ka-wei*) (unweit Shanghai in China) bedient man sich zu diesem Zwecke der Photographie in ähnlicher Weise, wie es oben beim Neumayerschen Tiefseethermometer beschrieben wurde; die meteorologischen Observatorien sind aber ihrer grossen Mehrzahl nach nicht in der Lage, diese kostspielige Methode zur Anwendung zu bringen, und behelfen sich dafür mit Schreibstiftaufzeichnung.

Kreil liess z. B. einen Griffel auf rotierendem Papier, Lamont liess mit besserem Erfolge einen Stahlstift auf einer mit doppelter Bewegung, einer drehenden und einer fortschreitenden, begabten Walze mit berusster Oberfläche die Kurve zeichnen. Die alternierende Bewegung des Stiftes wird am besten durch ein Metallthermometer geliefert. In diesem Sinne ist der viel gebrauchte Selbstregistrator von Hipp und Wild konstruiert, dessen Temperaturkurve allerdings nicht in der strengen mathematischen Wortbedeutung eine kontinuierliche ist; indess liegen die Stiche, welche die an der sich ausdehnenden oder zusammenziehenden Metallschnecke (s. o.) angebrachte Nadel mittelst einer dem Morseschen Prinzipe nachgebildeten galvanischen Auslösung auf unendliches Papier macht, einander so nahe, dass der durch Verbindung dieser Pünktchen hergestellte Linienzug von einer stetigen Kurve, die durch dieselben Fixpunkte hindurchgelegt ist, nur ganz unmerklich abweichen kann. Es ist jedoch auch möglich, die wahre stetige Temperaturlinie selbst zu bekommen, und es möchte in dieser Beziehung eine Maschinerie sehr empfehlenswert sein, welche vor kürzester Zeit erst der Münchener Mechaniker Sendtner auf C. Langs Anregung hin ausgeführt hat, und welche den bisher damit angestellten Versuchen zufolge sehr gut zu funktionieren scheint. Man hatte dabei zunächst einen Lamontschen Selbstregistrator zum Vorbilde genommen, einen Metallstab, dessen eines Ende sich unbeweglich gegen die feste Wand eines Beobachtungszimmers der Bogenhausener Sternwarte stützte, während das andere Ende die in der Länge des Stabes durch die variierende Wärme bewirkten Veränderungen aufschreibt. Lamont selbst, der sich ziemlich strenge an die Idee des Musschenbroekschen Pyrometers hielt, hatte ein Zinkrohr angewandt, allein einerseits erwies sich dieses Material nicht als so zuverlässig, wie der Erfinder glaubte, und zweitens war auch die Annahme eine irrige, dass eine Zimmerwand hinreichende Stabilität gewähre. Sendtner setzte daher an die Stelle des Zinkrohres Röhren aus geeigneter Metallegierung, von denen jede einzelne zuvor einer scharfen Prüfung hinsichtlich ihrer Beständigkeit unterworfen worden war; diese den eigentlichen Wärmemesser darstellenden Röhren sind in einem thermisch kompensierten Rahmen befestigt, welcher in be-

*) Dieses geophysikalische Observatorium gehört im Vereine mit denjenigen von Kew und Pawlowsk bei St. Petersburg sowie der auf dem Telegraphenberge bei Potsdam errichteten »Sonnenwarte« zu den vorzüglichst eingerichteten und geleiteten Anstalten seiner Art. Vorstand desselben ist Pater Dechevrens, der in monatlichen »Bulletins« die Aufzeichnungen seiner durchweg selbstregistrierenden Instrumente über Wind, Luftdruck, Temperatur, Feuchtigkeit, Verdunstung, Regen und erdmagnetische Elemente an die Öffentlichkeit bringt.

liebiger Entfernung von dem eigentlichen Registrator aufgestellt sein kann, und es wird durch diese Anordnung sehr zur Schonung des letzteren beigetragen. Unsere Fig. 10 gibt hinsichtlich des Details der Aufschreibung auf der Registriertrommel die erforderliche Aufklärung.

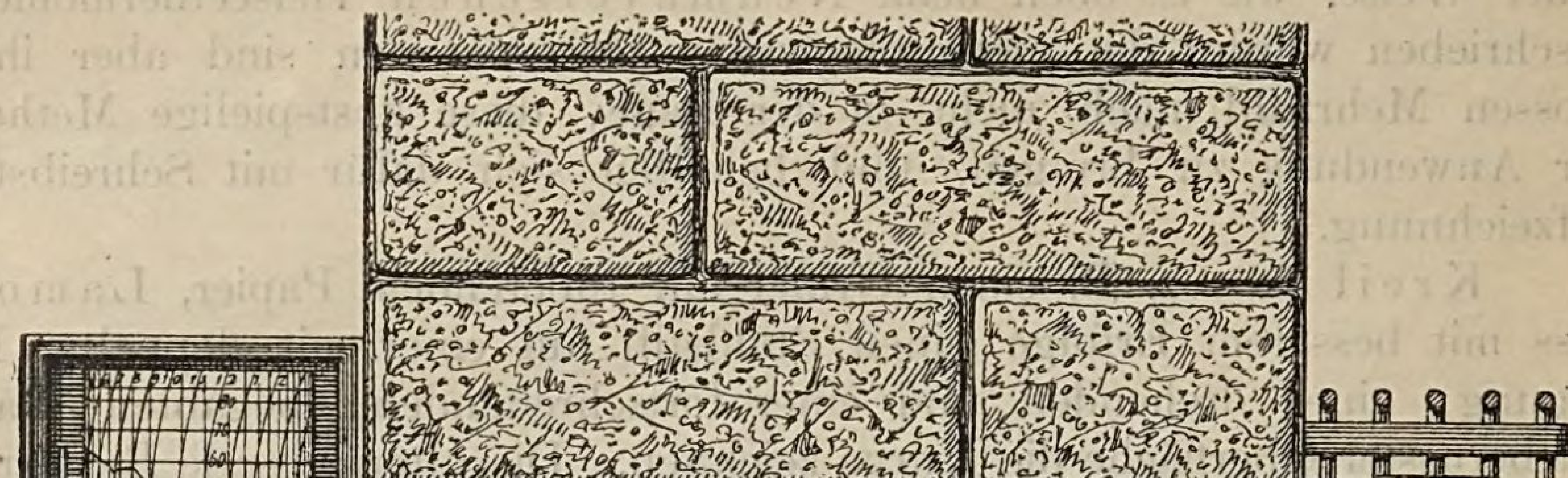


Fig. 10.

Seit einigen Jahren hat man neben dem älteren thermometrischen Prinzipe, welches die Längenänderung eines aus thermoskopischer Substanz verfertigten und hauptsächlich nach der Längendimension ausgedehnten Körpers als Mass der Wärmeschwankung verwendet wissen will, noch ein zweites Prinzip zur Geltung zu bringen versucht, dessen Grundlage die Gewichtsveränderungen der thermoskopischen Substanz bilden. Zumal die Selbstregistratoren von Schreiber und Sprung sind solche Wagethermometer; da aber ihr Konstruktionsprinzip wesentlich dasselbe ist, welches den feineren Registrierbarometern zugrunde liegt, so wollen wir, um Wiederholungen zu vermeiden, erst bei der gleich jetzt an die Reihe kommenden nächst wichtigen Gattung meteorologischer Instrumente eingehender bei der Sache verweilen.

Ehe wir jedoch von den Thermometern endgiltig Abschied nehmen, haben wir noch einige Worte zu sagen über die bei der Messung von Bodentemperaturen gebrauchten Werkzeuge, denn auch die Meteorologie nimmt einigen Anteil an den Resultaten unserer Forschung über die

Verteilung der Wärme in der Erdrinde und tiefer im Inneren unseres Planeten. Nachdem von Hales (1724), Ott (1762), Saussure (1780) Temperaturbeobachtungen in tieferen Bodenschichten angestellt waren, stellte sich bald die Notwendigkeit heraus, die eingesenkten Thermometer mit eigenen Schutzvorrichtungen zu versehen, und Saussure steckte seine Instrumente zu diesem Behufe in Holzröhren, welche er in die Erde eingrub. Bischof folgte ihm auf diesem Wege; allein erst Lamont gelang es, die Methode so zu verfeinern, dass man die ermittelten Zahlwerte als zuverlässig anzusehen berechtigt war. In Fig. 11 sehen wir ein Lamontsches Rohr von quadratischem Querschnitte vor uns, welches in seiner ganzen Länge — von etwa 6 m — in den Boden eingelassen und unten mit einer Kupferplatte verschlossen ist. In die Höhlung dieser Holzrinne passen mehrere — in unserer Fig. fünf — Holzstäbe A, B, C, D, E, deren drei mittlere gleich lang sind, während der oberste etwas länger, der unterste etwas kürzer genommen wird. An jedem dieser Stäbe ist oben ein eiserner Bügel zum Anfassen befestigt, und es muss deshalb, damit der Anschluss ein vollkommener sei, jeder Stab, den tiefstliegenden ausgenommen, mit einer der Grösse des Bügels angepassten Höhlung versehen sein. An der einen Seite ist in jedem der Stäbe eine Rinne angebracht (a, b, c, d, e in der Figur), in welcher ein in zehntel Grade geteiltes Thermometer steckt. Der Thermometerkugel unmittelbar gegenüber ist die Wand des Umhüllungsrohres fortgenommen und dafür aussen ein Stück Kupfer eingesetzt; da dieses Metall ein guter Wärmeleiter ist, so wird ziemlich bald die Thermometerkugel die Temperatur der angrenzenden Erdschicht angenommen haben. Um nun korrespondierende Messungen zu erhalten, zieht man zuerst A heraus und liest das darin befindliche Thermometer rasch ab, ehe es noch von dem veränderten Wärmezustand beeinflusst sein kann, dann macht man es ebenso mit B, C, u. s. f. Neuerdings hat man an verschiedenen Orten solche Vorrichtungen angebracht, und namentlich in Königsberg i. Pr. befindet sich eine Station für Bodenthermometrie, mit deren Anlage uns Dorn in einer besonderen Schrift bekannt gemacht hat. — Neben Wärmemessungen in loser Erde und festem Gesteine sind auch solche in Bohrlöchern sehr geeignet, uns Aufschluss über Temperaturverhältnisse unter unseren Füssen zu geben. Zugleich mit dem Thermometer von Walferdin steht für diese Aufgabe insonderheit das Geothermometer von Magnus in Verwendung,

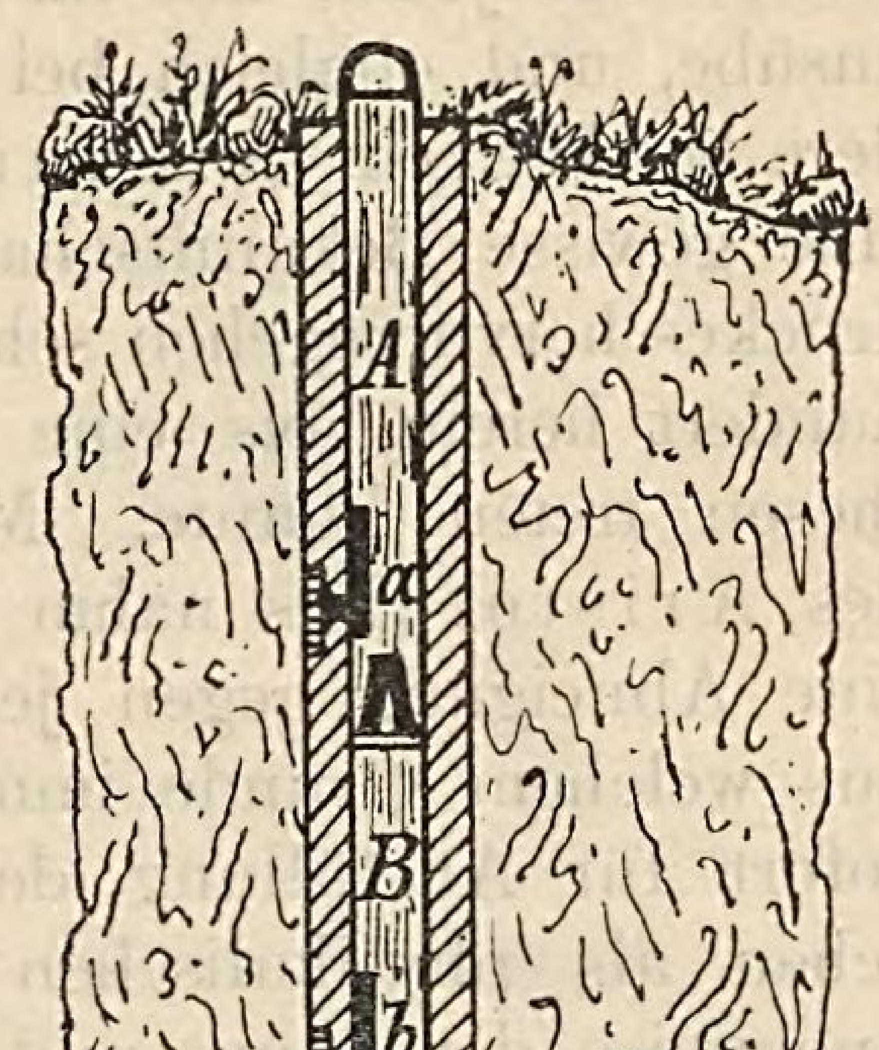
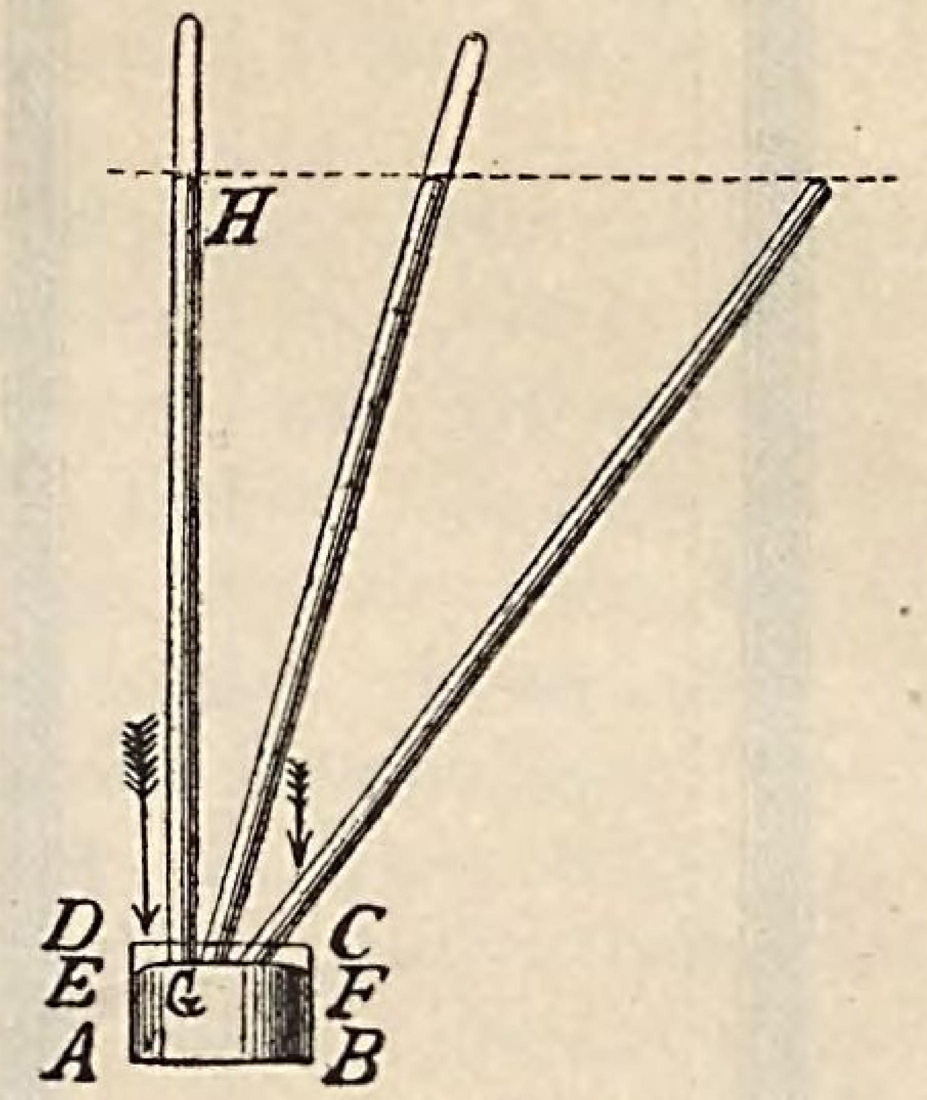


Fig. 11.

welches an der Stelle der üblichen Kugel ein grosses Gefäss von zylindrischer Gestalt aufweist.

Neben dem Thermometer muss unstreitig das Barometer als das wichtigste, ja für gewisse Zwecke sogar noch häufiger als das erstgenannte zu Rate gezogene Instrument genannt werden; man könnte sagen, dass das Thermometer die Klimakunde, das Barometer dagegen die ausübende Meteorologie suverän beherrscht. Von einem Luftschweremesser konnte begreiflicherweise keine Rede sein, solange man überhaupt nicht wusste, dass die Luft schwer sei und infolge dessen auch einen Druck auf jeden mit ihr in unmittelbarer Berührung stehenden Körper ausübe, und obgleich bei einzelnen antiken Schriftstellern, so insbesondere bei Heron Alexandrinus, Andeutungen sich finden, aus denen eine gewisse Bekanntschaft des Autors mit den Wirkungen des Luftdruckes hervorzugehen scheint, so dauerte es doch bis tief ins XVII. Jahrhundert herein, bis eine klare Auffassung an die Stelle vager Hypothesen treten konnte. Mit Rücksicht auf die unbezweifelte Autorität des Aristoteles nahm man an, dass in der Natur ein »Horror vacui«, eine Abneigung gegen jede Leere, obwalte; sowie also irgendwo und aus welchem Grunde immer ein leerer Raum entstehe, müsse die Natur sofort für Ausfüllung desselben sorgen. Mittelst dieser mehr moralischen als physikalischen Voraussetzung glaubte man auch die Wirkungsweise der Saug- und Druckpumpen erklärt zu haben. Da fand es sich, dass in Florenz ein neuer Pumpbrunnen angelegt wurde; wenn der Kolben aufgezogen wurde, so folgte ihm das Wasser nach, allein in einer Höhe von 18 italienischen Ellen über seinem eigenen Stande blieb es stehen und kümmerte sich nichts um den leeren Raum, welcher zwischen dem Wasserspiegel und der unteren Fläche des Kolbens unleugbar vorhanden war. Galilei wurde von den überraschten Brunnenmeistern wegen dieser ungewöhnlichen Erscheinung befragt, allein diesmal versagte sein um Hilfsmittel sonst niemals verlegenes Genie ihm den Dienst; er glaubte, dass der Horror varui an gewisse Grenzen gebunden sei, und verglich die am Stempel haftende Wassersäule mit einem vertikal hängenden, oben eingeklemmten, Metallzylinder, der von einer gewissen Länge an sein eigenes Gewicht auch nicht mehr zu tragen vermöge und zerreisse. Erst Galileis trefflichem Schüler Torricelli war es vorbehalten, Licht in die Sache zu bringen. Er stellte durch Versuche fest, dass Wasser unter allen Umständen bei einer gewissen Höhe stehen bleibe und dehnte dann diese Experimentaluntersuchung auch auf andere, spezifisch schwerere Flüssigkeiten aus. Da fand sich denn, dass die Standhöhe jetzt eine geringere als früher war, und zwar verhielten sich für zwei verschiedene Flüssigkeiten die Höhen der Flüssigkeitssäulen über dem Niveau umgekehrt wie deren spezifische Gewichte. Die Ursache dieser Verschiedenheit konnte nur darin gesucht werden, dass die auf die Oberfläche drückende Luft durch einen Flüssigkeitszylinder aequilibriert wird, der um so weniger Höhe zu haben braucht, je dichter der Stoff ist, aus welchem er besteht. Damit war denn auch die Möglichkeit gegeben, den Druck der Luft wirklich zu messen, doch begnügte sich Torricelli mit diesem theoretischen Funde und überliess es seinem Freunde Viviani, denselben für die Praxis verwertbar zu machen.

Am übersichtlichsten musste der Messapparat sich gestalten, wenn man das schwere Quecksilber zur Füllung der Röhre wählte. Viviani füllte (Fig. 12) den parallelepipedischen Trog ABCD teilweise mit Quecksilber, goss diese nämliche Substanz in eine lange, nicht zu dünne und sorgfältig kalibrierte Röhre, die oben offen war, und kehrte hierauf diese Röhre um, indem er die jetzt unten befindliche Öffnung luftdicht verschloss. In dieser Stellung brachte er die Röhre mit der Öffnung unter das Niveau EF des die Wanne erfüllenden Quecksilbers und zog nunmehr den Finger fort, worauf ein Teil des in der Röhre befindlichen Fluidums ausfloss und das Niveau EF erhöhte. Der von der Säule GH auf das Quecksilberbad ausgeübte vertikale Druck überträgt sich dem für die Fortpflanzung eines Druckes in tropfbaren Flüssigkeiten geltenden Gesetze gemäss unverändert in entgegengesetzter Richtung auf den jetzigen Spiegel der Quecksilbermasse, auf welchen zugleich, wie die Pfeile zeigen, die Luft von oben nach unten drückt. Da nun Gleichgewicht besteht, so ist die Quecksilbersäule das genaue Mass des Luftdruckes, die beschriebene Vorrichtung ist ein Barometer. Nehmen wir an, die Schwere der Atmosphäre nehme zu, so wird letztere auch schwerer auf ihrer Unterlage lasten, und es wird damit zugleich ein Ansteigen des Quecksilbers in der Röhre verbunden sein; sowie Schwere und Druck sich vermindern, wird auch die Quecksilbersäule im Barometer zu sinken beginnen. Wir sind mithin in die Lage versetzt, nicht nur die Grösse des Luftdruckes zu einem gegebenen Zeitpunkte bestimmen, sondern auch die Schwankungen desselben ununterbrochen kontrolieren und messen zu können.



(Fig. 12.)

Dass die Wahl der italienischen Physiker gerade auf das Quecksilber fiel, muss in jeder Hinsicht als ein Glück betrachtet werden, und so ist man denn auch bis zum heutigen Tage bei diesem Stoffe stehen geblieben. An und für sich könnte natürlich jeder andere auch Verwendung finden, nur würde dann das Barometer ein unförmlicher, schwer zu handhabender Apparat werden. Zu Versuchszwecken hat man wohl Wasserbarometer construiert, zu welchem Zwecke lange eiserne Röhren mit gläsernen Durchsichten aneinandergeschraubt und an einem Turme oder hohem Hause aufgerichtet wurden. In England hat man probeweise auch mit einem Glyzerinbarometer zu beobachten angefangen, doch ist kaum zu erwarten, dass durch Neuerungen dieser Art die Suprematie des Quecksilberbarometers ernstlich in Frage gestellt werden wird. Doch ist naturgemäss jene primitive barometrische Vorrichtung, deren wir soeben gedachten, in verschiedener Weise, jedoch ohne Beeinträchtigung des Grundprinzipes, abgeändert werden, und von Abänderungen bedürfen namentlich das Gefässbarometer und das Heberbarometer einer besonderen Beschreibung.

Fig. 13 stellt uns das Gefässbarometer in seiner einfachsten Gestalt vor Augen. Jener Punkt a, welcher einem mittleren Drucke von 760 mm

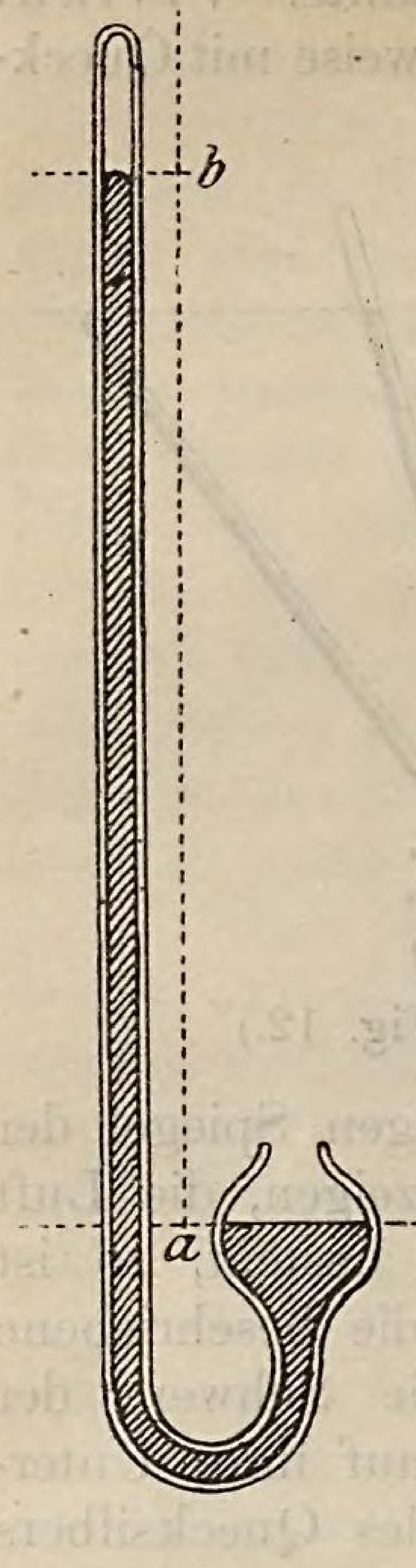


Fig. 13.

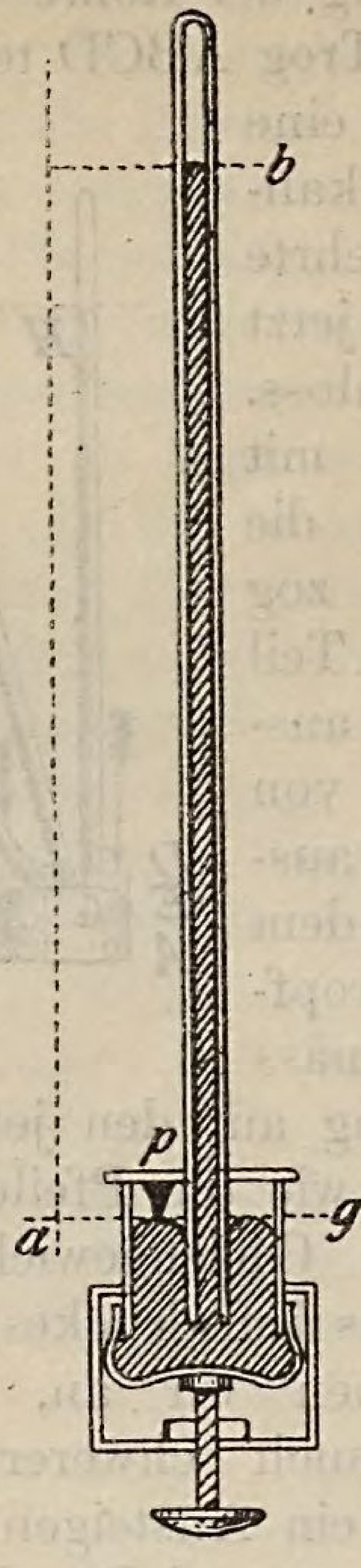


Fig. 14.

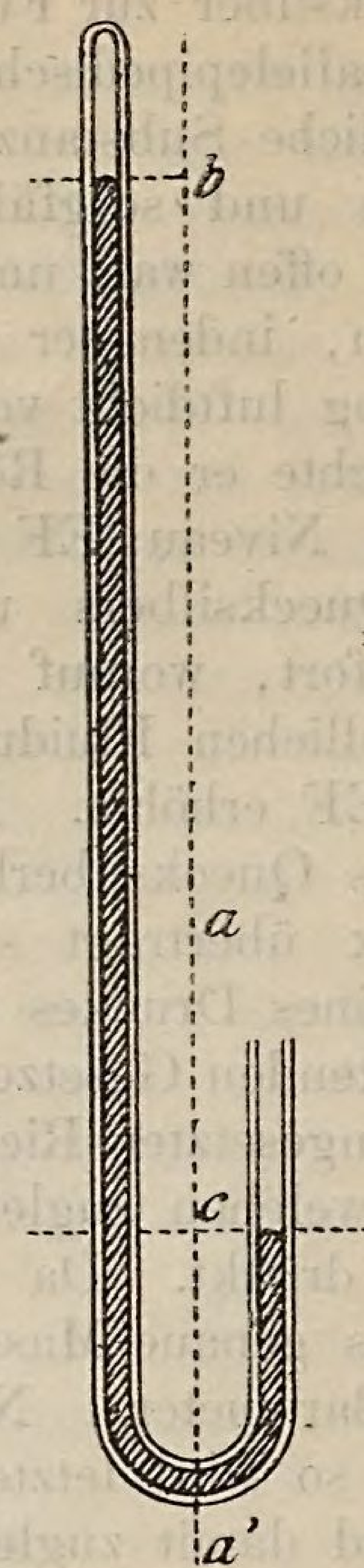


Fig. 15.

entspricht, wird als Nullpunkt der Teilung angesehen, und von ihm aus wird die Höhe a b bis zu dem auf und abschwankenden Häubchen (Meniskus) der Quecksilbersäule gemessen. Grosse Genauigkeit ist von diesem Instrumente nicht zu erwarten, und zur Mitnahme auf Reisen eignet es sich ebenfalls nicht; dafür aber thut das von Ramsden erdachte, von Fortin und Ernst erheblich verbesserte Gefässbarometer, welches wir in Fig. 14 vor uns sehen, ausgezeichnete Dienste. Hier steht die eigentliche Barometerröhre in einem Glasgefässe g, das unten durch einen Lederbeutel abgeschlossen und in dieser Verfassung in ein weiteres Messinggefäss eingesetzt ist. Eine zentral auf den Ledersack treffende Schraube, welche leicht aufwärts gedreht werden kann, bewirkt es, dass Ledersack und Quecksilber gehoben werden können, und zwar soweit, dass die feine Spitze p genau an der Oberfläche g der Flüssigkeit einspielt. Man kann diesen Moment mit relativ grosser Genauigkeit dadurch fixieren, dass man zusieht, ob die Spitze und ihr Spiegelbild sich gegenseitig berühren. Nunmehr ist wieder a b die gesuchte Barometerhöhe. Das in Oesterreich viel gebrauchte Barometer von Kappeller macht es möglich, mittelst einer einfachen rechnerischen Korrektion selbst auf die soeben beschriebene Prozedur noch verzichten zu können. In Fig. 15 ist ein Heberbarometer abgebildet. Der lange (geschlossene) und kurze (offene) Schenkel sind diesmal von gleicher Lichtweite; wenn man also den kürzesten Abstand bc der an die Menisken beider Säulen gelegten Berührungsebenen kennen lernen will, so muss man an jedem Schenkel eine Ablesung vornehmen. Eine eigentümliche Kombination von Gefäss- und Heberbarometer ward von Fuess empfohlen und von vielen Meteorologen adoptiert. Das Gefässbarometer Fortins wird von wissenschaftlichen Reisenden mit Vorliebe mitgenommen; für den Transport schraubt man nämlich den Lederbeutel so hoch hinauf, dass das darin enthaltene Quecksilber sowohl die Röhre als auch den unteren Teil

des Gefässes vollständig ausfüllt, und in dieser Situation kann man mit dem Werkzeuge, ohne Gefahr einer Schädigung, alles mögliche vornehmen, es also auch umkehren und, in einer Hülle versorgt, überallhin transportieren. Endlich seien noch die Marinebarometer genannt, Gefässbarometer, deren Rohr nur in seinem oberen Teile ziemlich weit, in seinem unteren dagegen stark verengert ist.

Die Vorsichtsmassregeln, deren Ausserachtlassung beim Anfertigen und beim Gebrauche eines Quecksilberbarometers der Güte der Beobachtungen schwer schädigen würde, haben einen weit grösseren Umfang, als es beim Thermometer der Fall ist. Dafür, dass die Röhre gut kalibriert und mit aequidistanten Teilstrichen versehen sei, hat der das Instrument liefernde Mechaniker selbst zu sorgen, ebenso auch für die chemische Reinheit des zum Füllen verwendeten Quecksilbers. Allein der Beobachter hat noch genug zu thun, er hat vor allem Sorge dafür zu tragen, dass der oberhalb der Quecksilbersäule im Rohre befindliche Raum, welcher in aller Strenge luftfrei sein soll und aus diesem Grunde die Torricellische Leere*) genannt wird, nicht mit der Zeit diese für eine genaue Beobachtung unerlässliche Eigenschaft einbüsse. Das beste Mittel zur Vertreibung der eingedrungenen Luft besteht im Auskochen, worauf schon Boyle hingewiesen hat. Des ferneren ist zu bedenken, dass jedes Barometer zugleich auch die Veränderungen der Wärme mitmachen muss; es bedarf also, wenn das Instrument nicht in einem stets gleich temperierten Raum aufgestellt ist, zugleich auch einer Temperaturkorrektion. Da Dulong und Petit die Ausdehnung des Quecksilbers zwischen dem Gefrier- und Siedepunkte genau bestimmt haben, so kann man den Barometerstand, wie er gerade beobachtet wurde, durch eine ganz einfache Rechnung auf die Normaltemperatur von 0^0 reduzieren. Der Masstab, sei es, dass er auf dem Glase selbst eingeritzt oder auf einer Metallplatte angebracht ist, erleidet ebenfalls durch Temperaturschwankungen eine Veränderung, deren Einwirkung rechnerisch auszumerzen ist. Weit weniger leicht sind diejenigen Verbesserungen anzubringen, welche die Kapillarität**) der Röhre notwendig macht. Bravais und Martins haben eine Tabelle berechnet, aus welcher für einen gegebenen Röhrendurchmesser die Höhe des Meniskus und die Grösse der Kapillardepression ermittelt werden können; Schleiermacher und Delcros verfeinerten diese Tafel so, dass sie für den Gebrauch vollkommen ausreicht.

*) Den Gegensatz zu diesem vollkommenen Vakuum bildet als ein unvollkommenes die Guerickesche Leere, so zubenannt nach dem bekannten Erfinder der Luftpumpe, Otto v. Guericke. Eine einfache mathematische Betrachtung belehrt uns darüber, dass die Luft unter dem Rezipienten einer solchen Pumpe durch noch so viele Stösse zwar bis zu jeder beliebigen Grenze verdünnt, niemals aber gänzlich weggeschafft werden kann.

**) Da die Röhre niemals eine sehr beträchtliche Weite haben kann, so macht sich der Umstand geltend, dass das Quecksilber vom Glase, wie man sich auszudrücken pflegt, eine kapillare Abstossung erleidet, so dass also die freie Oberfläche der Säule nicht wagrecht wird, sondern ihren höchsten Punkt in der Mitte hat und von da aus nach allen Seiten sich abdacht. Zwischen Weingeist und Glas macht sich im Gegenteile eine kapillare Anziehung bemerklich; ersterer steigt an den Glaswänden in die Höhe.

Angesichts des Umstandes, dass so viele Vorsichtsmassregeln getroffen sein müssen, wenn die Ablesungen am Quecksilberbarometer den wirklichen Luftdruck anzeigen sollen, kann es nicht verwundern, dass die Vergleichung zwischen Beobachtungsreihen, die von verschiedenen Beobachtern mit verschiedenen Instrumenten an verschiedenen Orten vorgenommen wurden, etwas missliches hat; das Barometer ist eben ein Werkzeug von ausgesprochenster Individualität. *)

Neben dem Quecksilberbarometer hat sich in diesem Jahrhundert noch eine auf einem völlig verschiedenen Prinzipe beruhende Gattung von Luftschweremessern Eingang zu verschaffen gewusst; dies sind die namentlich in touristischen Kreisen so viel genannten Aneroidbarometer (ἀνηρός = hohl). Ein luftleer gemachter Hohlraum besitzt dünne, elastische Wandungen, dieselben machen die Schwankungen des Luftdruckes mit, und die dadurch bewirkten Bewegungen werden durch eine Hebelvorrichtung und eine Zeigernadel an einer Skala ersichtlich gemacht. Dies die Grundidee, die aber natürlich auf sehr verschiedene Weisen der praktischen Realisierung fähig ist. Die älteste Vorrichtung dieser Art war Vidis Dosenbarometer (Holosterik), welches jetzt fast gänzlich durch Bourdons Metallthermometer verdrängt ist, und auch an dieser haben wiederum Naudet, Höltschl, Goldschmidt u. a. zahlreiche verbessernde Modifikationen angebracht. Wesentliche Bestandteile eines Metallbarometers sind eine luftleere, kreisförmige Messingröhre, die in der Mitte (Fig. 16) befestigt ist, während ihre freien Enden bei zunehmendem Luftdruck sich einander nähern, bei abnehmendem sich von einander entfernen. Die Figur zeigt, in welcher Weise dieser alternierende Bewegungsvorgang auf einen Zeiger und durch diesen auf die geteilte Peripherie am Rande übertragen wird. Das Aneroid ist kein so zartes Instrument, wie das Quecksilberbarometer, es kommen bei ihm gewisse Korrektionen in Wegfall, die bei jenem nicht entbehrt werden können, allein dadurch verbürgt es auch eine weit geringere Genauigkeit, und van Bebber gibt desshalb den Rat, das Metallbarometer nur zu Variationsbeobachtungen, niemals aber zu Einzelmessungen zu verwenden, auf welche man sich verlassen will. Es steht auch kaum zu hoffen, dass die Konstruktion der Aneroide jemals

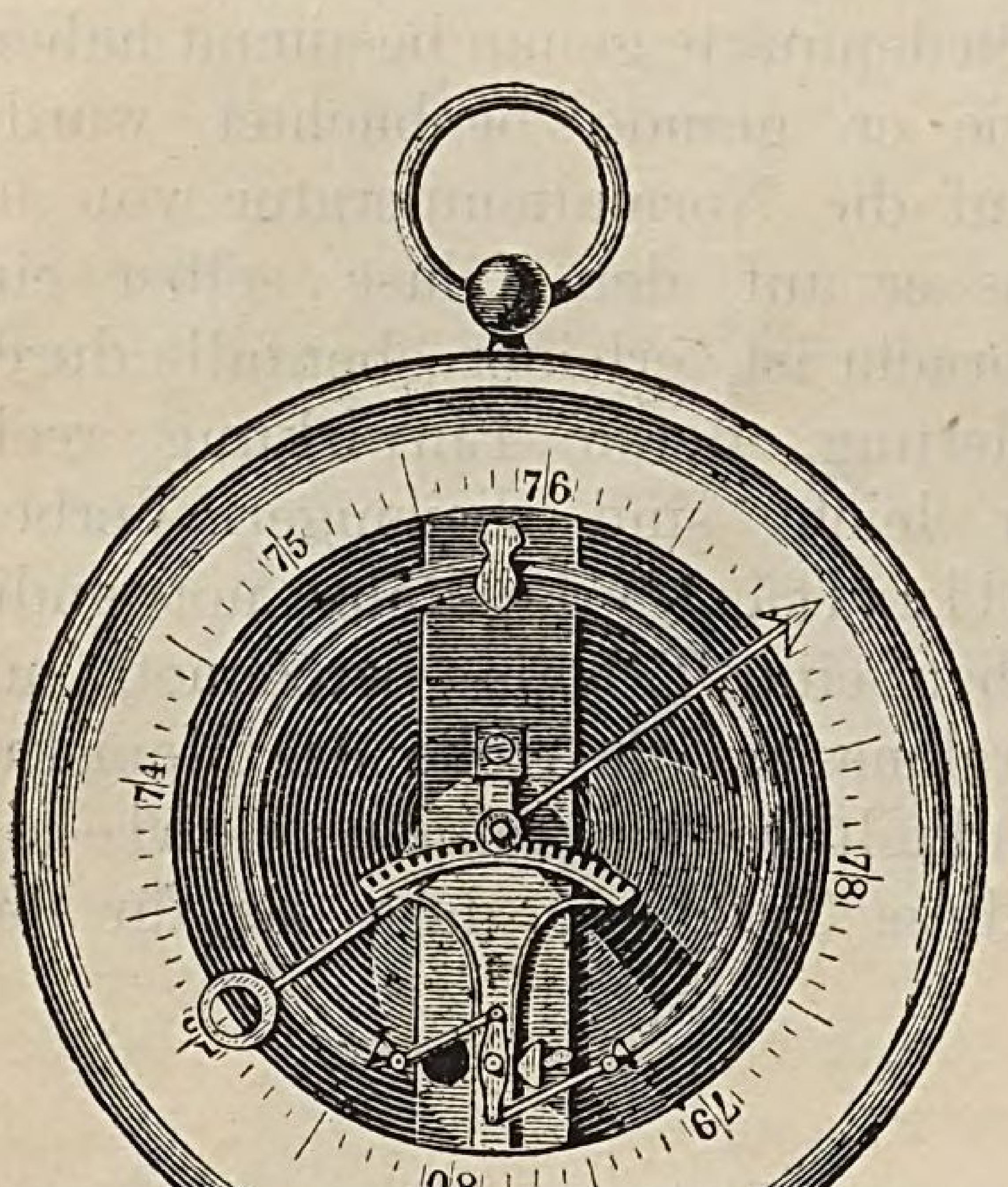


Fig. 16.

*) Man begreift jetzt, weshalb Bessels bei der Rückkehr von der verunglückten Hallschen Polarexpedition sich den Zwang auferlegte, wenigstens eines der mit auf die Reise genommenen Fortinschen Normalbarometer unversehrt mit heimzubringen und das Instrument während der ganzen beschwerlichen Bootfahrt beständig auf dem Rücken zu tragen.

die grossen Schwierigkeiten zu überwinden vermögend sein werden, welche in der Trägheit der Metallwandungen und in deren Neigung zu elastischer Nachwirkung von der Natur selbst geschaffen wurden.

Als Registrierbarometer hat man beide Klassen von Instrumenten, von denen wir sprachen, zu aptieren gesucht, und zwar mit gutem Erfolge. Mit dem Gefässbarometer liess sich freilich wenig anfangen, dafür aber liess sich das Heberbarometer um so leichter dem Registrierzwecke anpassen. Schon Huygens hatte von einem Radbarometer gesprochen; Kreil, Schultze u. a. gelangten vollständig zu dem gewünschten Ziele. Auf dem Quecksilber des offenen Schenkels ruht ein Schwimmer, von dem ein Faden ausgeht; derselbe läuft über eine Rolle zu einem Rade, an dessen Achse ein Arm mit einem Stifte befestigt ist. Dieser Stift zeichnet die Veränderungen im Stande des Barometers dadurch auf, dass ihn ein um eine horizontale Achse drehbarer Hebel niederdrückt, und dieses Niederdrücken erfolgt wieder durch die zwölf Zähne eines mit dem grossen Zeiger einer Uhr umlaufenden Rades, welche jeweils das untere Ende des bewussten Hebels in die Höhe heben. Alle fünf Minuten bekommen wir so eine dem augenblicklichen Barometerstande entsprechende Marke in der sich fortbewegenden Unterlage.

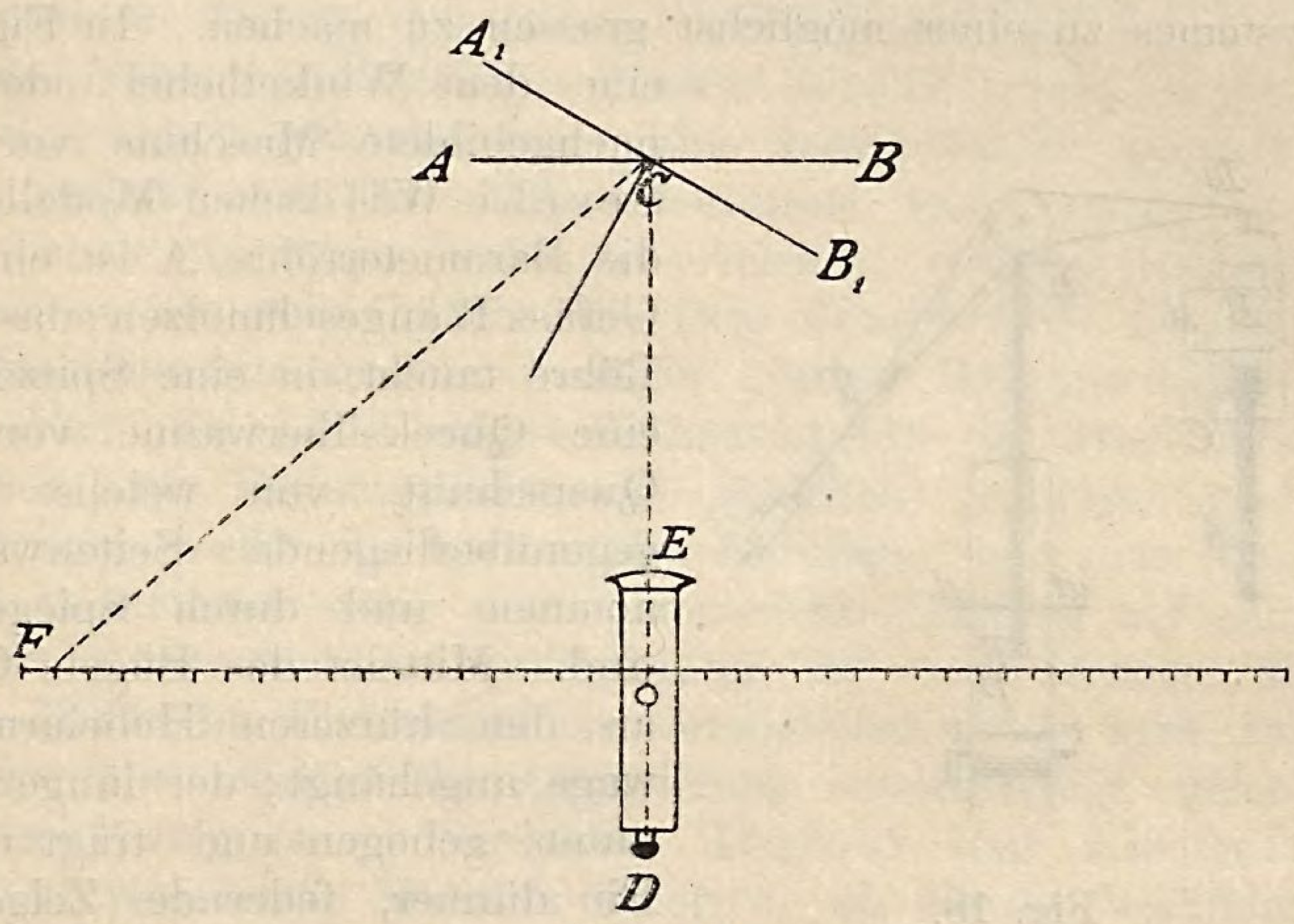


Fig. 17.

Dass ein Aneroid verhältnissmässig leicht für die automatische Registrierung zugerichtet werden kann, leuchtet von selbst ein. Am besten möchten sich in dieser Hinsicht die von Kohlrausch und Roentgen empfohlenen Variationsbarometer eignen. Der luftleere Metallring Bourdons ist bei dieser Vorrichtung mit seinem einen Ende unbeweglich festgeschraubt, während das andere an einen kleinen Spiegel stösst, der selber wieder an einem Streifchen Pendelstahl hängt. An diesen Spiegel ist ein Flügel angelötet, welcher sich in Glyzerin bewegt und dadurch die Heftigkeit der Schwingungen dämpft. Die Skala, welche zu dem Spiegel gehört*), ist 3 m von diesem entfernt, und da 25 Skalateile auf 1 mm

*) Mit der Poggendorffschen Spiegelablesung, auf welche hier angespielt, und auf welche die Erdphysik in allen ihren Teilen als auf eines ihrer unentbehrlichsten Hilfsmittel angewiesen ist, hat es die folgende Bewandnis. Der Spiegel AB wird aus seiner Ruhelage nach A_1 B_1 abgelenkt; es gilt

des gewöhnlichen Barometers kommen, so ist die Genauigkeit der Ablesung eine sehr grosse. Wie nützlich ein selbst aufzeichnendes Aneroid zu werden vermag, geht z. B. aus der Thatsache hervor, dass dasjenige, welches der meteorologischen Zentralstation in München gehört, in klarster Schrift die Luftdruckschwankungen aufschrieb, welche die von der Krakatau-Katastrophe in Sunda-Archipel ausgelöste riesige Luftwelle allerorts auf der Erde in ihrem Gefolge hatte.

Wie schon erwähnt, hat in neuerer Zeit das Prinzip der Wägebarometer vielen Anklang bei den Fachmännern gefunden, und zwar war es Secchi, der es zuerst möglich machte, das Gewicht der Quecksilbermasse als Mass des Luftdruckes zu verwenden; man müsste denn hierher auch die schon vor mehr als hundert Jahren von Morland und Luz angegebenen Wagebarometer rechnen wollen, die, wiewohl richtig ausgedacht, niemals in der Beobachtungspraxis eine Rolle gespielt haben. Allerdings ist die Methode an sich manchen theoretischen Bedenken ausgesetzt, auf welche wir an diesem Orte nicht näher eingehen können; es genüge, zu sagen, dass Sprung diese Bedenken einer sorgfältigen Prüfung unterzogen und gezeigt hat, dass es darauf ankomme, die Veränderung im statischen Momente des Wagebalkensystemes zu einer möglichst grossen zu machen. In Fig. 18 haben wir eine dem Winkelhebel oder der Briefwage nachgebildete Maschine vor uns, die dem Secchi-Wildschen Modelle entspricht. An die Barometerröhre A ist ein ziemlich weites Gefäss B angeschmolzen; das untere Ende der Röhre taucht, in eine Spitze ausgezogen, in eine Quecksilberwanne von quadratischem Querschnitt, von welcher zwei einander gegenüberliegende Seitenwände herausgenommen und durch Spiegelplatten ersetzt sind. Mittelst des Bügels C ist die Röhre an den kürzeren Hebelarm D der Zeigerwage angehängt; der längere Arm ist nach unten gebogen und trägt ein Laufgewicht. Ein dünner, federnder Zeiger K geht vom Drehpunkte des Hebels aus und trägt an seinem unteren Ende die markierende Nadel. Zunehmender Luftdruck macht das in der Röhre befindliche Quecksilber schwerer, es hebt sich Arm T, und das untere Ende des Zeigers K macht eine Bewegung von links nach rechts; bei abnehmendem Luftdruck verhält sich alles

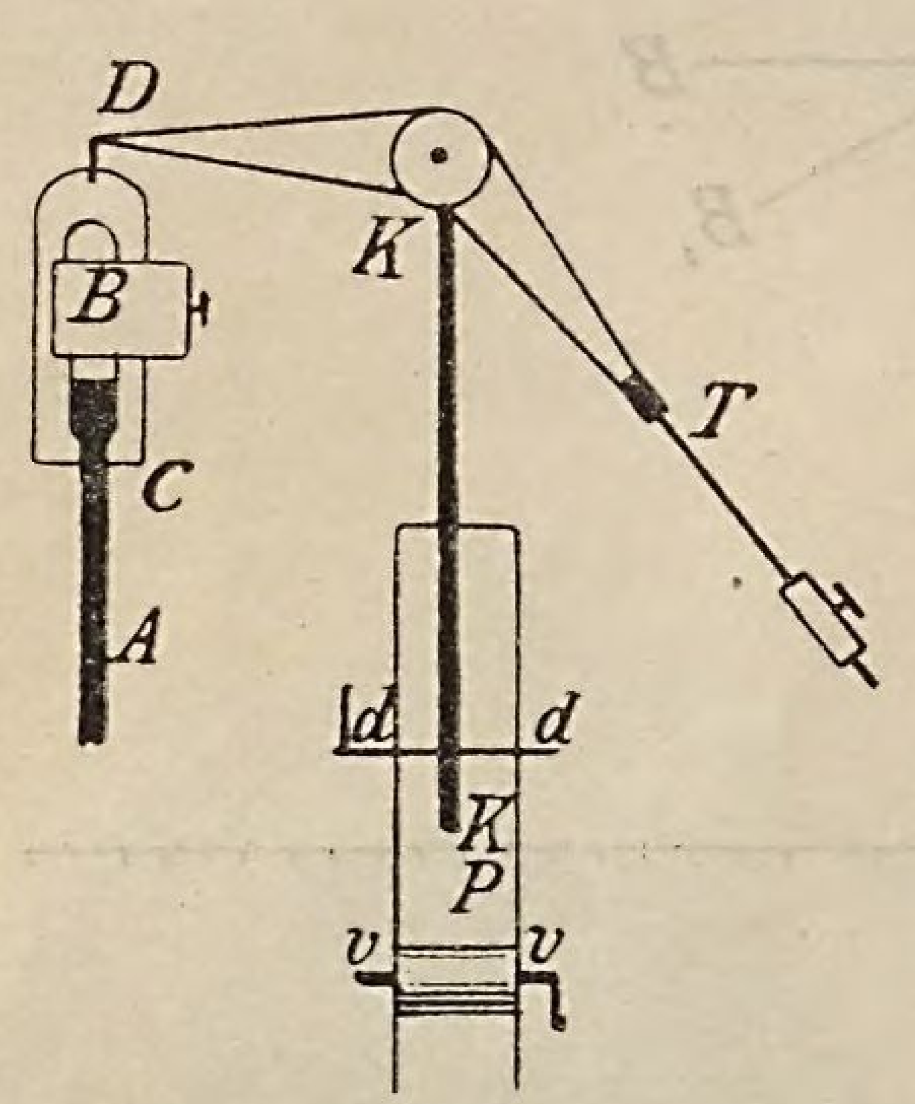


Fig. 18.

den Winkel $ACA_1 = BCB_1$ zu messen. Um dies zu erreichen, wird ein Fernrohr DE so aufgestellt, dass seine Achsenrichtung in C senkrecht auf AB trifft; eine zu AB parallele Skala ist mit dem Fernrohre fest verbunden, so dass ihr Nullpunkt in die Achse hineinfällt (Fig. 17). Nach vollendeter Drehung erblickt der am Okular D stehende Beobachter nicht mehr den Nullpunkt im Spiegel, sondern den Punkt F, der um eine gewisse Anzahl von Teilstrichen von o entfernt ist. Aus optischen Gründen ist ∢ FCD zweimal so gross als ∢ ACA_1 und da im rechtwinkligen Dreieck oCF die beiden Katheten oC und oF bekannt sind, so gilt ein gleiches, wie die Trigonometrie lehrt, auch für ∢ FCD.

gerade umgekehrt. d ist der Hebel, welcher die Zeigernadel in gleichabständigen Momenten auf den in vertikaler Richtung unter ihm weggleitenden, über die Walze v laufenden Papierstreifen niederdrückt und so das Aufzeichnen der diskontinuierlichen barometrischen Kurve besorgt. Diese Secchi'sche Methode ist jedoch nicht frei von mancherlei Uebelständen, die Temperatur macht ihren Einfluss geltend, und der Skalenwert ist selbst wieder von dem — doch erst zu messenden — Drucke der Luft abhängig, indem die Winkelbewegung, welche 1 mm Druckveränderung im Quecksilberbarometer aequivalent ist, bei hohem Barometerstande geringer ausfällt als bei niedrigem. Man bedient sich dieses Winkelhebelapparates mehr nur zur Interpolation und hält sich dafür an Sprungs Rollenbarographen, bei welchem die Variabilität der Skala vermieden ist. Zwei kongruente Kreisbögen sind Bestandteile einundderselben, in ihrem Schwerpunkte unterstütztn Rolle. Um diese Rolle legt sich eine Schnur, welche links ein Quecksilbergefäss, rechts einen als Gegengewicht dienenden Eisenzylinder trägt, der selbst wieder in eine Quecksilbermasse eintaucht. Der am Tauchczylinder angebrachte Index dient als Schreibstift. Wir bemerken noch, dass auch Schreiber's hydrostatischer Barograph ein ähnlich konstruiertes Wagebarometer ist, und dass die Theorie der ganzen Instrumentgattung eine lichtvolle, auf manche früher vernachlässigte Punkte bedacht nehmende Darstellung durch Sprung*) gefunden hat. Eine kontinuierliche Registrierung, die ja an und für sich das wünschenswerteste wäre, ist bei dem Barographen jedweder Art nicht wohl zu erreichen, weil die Reibung des Schreibstiftes an der Schreibfläche die freie Beweglichkeit der sehr empfindlichen Maschinenteile zu sehr hemmen würde. Dagegen hat der Berliner Mechaniker Fuchs Laufgewicht-Instrumente herzustellen begonnen, bei denen jener Reibungswiderstand glücklich umgangen wird; der eine Wagebalken bleibt in horizontaler Ruhelage, und das wandernde Laufrad verzeichnet stetig seine momentane Stellung auf einer Schreibtafel. Die automatische Aequilibrierung des einen Armes, die bisher nur mit Hilfe der Elektrizität zu ermöglichen war, wird seit kurzem durch eine blos mechanische Adjustierung bewerkstelligt, welche man dem Dänen Rung (s. o.) verdankt. Dufour und Amstein modifizieren die gravimetrische Methode insofern, als sie die Veränderungen messen lassen, welche der Schwerpunkt einer frei aufgehängten Quecksilbersäule in seiner Lage erleidet. Diese Verschiebungen stellen sich selbst graphisch dar, und es ist so ein Aufzeichnungsinstrument hergestellt, dessen geringe Trägheit von den Erfindern gerühmt wird.

Das Barometer findet neben seiner rein-meteorologischen Anwendung eine solche auch in der Messkunde: es hat sich mehr und mehr als ein vorzügliches Hilfsmittel zur Messung der Höhen von Bergen, überhaupt von vertikalen Erhebungen herausgestellt. Dass es zu diesem Zwecke tauglich sein müsse, hatte schon bald nach Erfindung des Barometers Blaise Pascal, der berühmte französische Mathematiker, eingesehen. Obwohl er von dem Mariotteschen Gesetze noch nichts wusste, sagte er sich doch, dass der Luftdruck in höheren Regionen unserer Atmos-

*) Sprung, Lehrbuch der Meteorologie, S. 393 ff.

phäre geringer sein müsse, als am Erdboden, dass also bei einem vertikal aufwärts getragenen Barometer ein langsames Sinken der Barometersäule zu beobachten sein werde. Ein vorläufiger Versuch auf einem der Türme von Notre-Dame in Paris ermutigte Pascal zu weiterer Verfolgung der Sache; da ihm aber in der Hauptstadt keine grössere Höhe zur Verfügung stand, so ersuchte er seinen in Clermont am Fusse des fast 1000 m hohen Puy-de-Dôme wohnenden Schwager Perier, die Barometerstände in der Stadt und oben auf dem Gipfel dieses Berges mit einander zu vergleichen. Perier vollzog die Besteigung am 19. September 1648 und fand, dass oben die Säule in der That um 3 Zoll $1^1/_2$ Linien niedriger stand als unten. Damit war denn der strikte Beweis für die Richtigkeit der Pascalschen Theorie geliefert, und Pascal konnte in seinen berühmten Darlegungen der Fundamentalsätze der Aerostatik *) mit Recht verkünden, dass man nunmehr ein Mittel besitze, um zu beurteilen, welcher von zwei gegebenen Orten dem Erdzentrum zunächst liege. Eine eigentliche Höhenmessung war damit noch nicht vorhanden, zu dieser legte erst einige Jahrzehnte später Edmund Halley den Grund, indem er den wichtigen Lehrsatz formulierte: Während die Erhebungen über dem Meeresniveau in arithmetischer Progression zunehmen, nimmt der Luftdruck in geometrischer Progression ab. Wären nicht auch noch andere Faktoren zu berücksichtigen, so würde hieraus eine äusserst einfache Vorschrift zur Bestimmung der Niveaudifferenz zweier verschieden hoch gelegener Punkte hervorgehen: Man hätte nur an beiden Orten den Stand des Barometers abzulesen, den Logarithmus der kleineren Zahl von dem Logarithmus der grösseren abzuziehen und den Rest mit einem konstanten, einfürallemal vorausberechneten Faktor zu multiplizieren. In der That liegt auch das Verfahren Halleys allen späteren barometrischen Höhenmessungsmethoden zugrunde, nur musste allmählig auf eine ganze Fülle von Nebenbedingungen nach Rücksicht genommen werden, deren Unterschätzung die älteren Ergebnisse sehr unrichtig gemacht und sogar den richtigen Grundgedanken in Misskredit gebracht hatten. Die Barometerformel der Neuzeit, wie sie sukzessive aus den Untersuchungen von Deluc, Ramond, Laplace, Rühlmann und v. Bauernfeind, namentlich aus der vom letztgenannten Gelehrten am Miesing in Oberbayern durchgeführten Kombination von barometrischer und geometrischer Höhenmessung (Nivellement) hervorgegangen ist, enthält die Temperaturstände des oberen und unteren Beobachtungsplatzes, die von jenen einigermassen abweichenden Eigentemperaturen des Quecksilbers an beiden Orten, ebenso die dortselbst gemessenen Dampfspannungen, und endlich ist auch auf die geographische Breite bedacht zu nehmen. **) Auch kommt sehr viel

*) Pascal, Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs, Paris 1648; Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air, ibid. 1663.

**) Die Schwere ist auf der Erdoberfläche nicht gleichförmig verteilt, da erstens die Erde keine vollkommene Kugel ist (s. o.), und da zweitens die vom Aequator gegen die Pole hin abnehmende Zentrifugalkraft die Attraktion vermindert. Es wird somit auch die Schwere der Luft, welche das Barometer zu messen hat, sich von der Polhöhe abhängig erweisen.

darauf an, günstige Beobachtungszeiten zu wählen; nach v. Bauernfeind werden die Beobachtungstermine am besten auf 10 Uhr vormittags und 4 Uhr nachmittags angesetzt. Ueberhaupt muss besonders der Forschungsreisende sein Barometer und die an ihm gemachten Ablesungen mit der grössten Vorsicht und Umsicht behandeln, weil er sich sonst vor ebenso auffallende wie unerwünschte Resultate gestellt sehen kann.*) Für gewöhnliche touristische Zwecke genügt selbstverständlich das Aneroidbarometer, das jedoch dann, wenn der Bergsteiger sein Instrument zu behandeln versteht, die oft etwas launenhafte Individualität desselben ordentlich studiert und es mit einem fixen Quecksilberbarometer gehörig verglichen hat, überraschende Annäherungen an die Wahrheit liefern kann. Man nimmt mit v. Bauernfeind an, dass unter sonst völlig gleichen Umständen die Güte einer Messung mit Quecksilberbarometer zu einer solchen mit Aneroid sich wie 17 : 10 verhält. Das blosse Ablesen der Skala genügt natürlich nicht, vielmehr muss, wenn eine erhöhte Genauigkeit angestrebt wird, immer von einer Hilfstafel Gebrauch gemacht werden, und solche Tafeln sind denn auch genügend vorhanden. **)

Als eine eigentümliche Abart der barometrischen erscheint die thermometrische Höhenmessung. Wenn einer Flüssigkeitsmenge Wärme zugeführt wird, so beginnt die erstere bei einem unter gewöhnlichen Verhältnissen gleich bleibenden Temperaturgrade, dem Siedepunkt, ein Wallen und Zischen erkennen zu lassen, sie wird durch den gewaltthätigen Akt des Siedens aus dem tropfbarflüssigen in den elastischflüssigen Aggregatzustand übergeführt. Während man aber früher der Meinung gewesen war, der Siedepunkt sei absolut konstant, musste man sich allgemach überzeugen, dass derselbe vom Luftdruck abhängig ist; je stärker letzterer ist, um so schwerer ist es, die Flüssigkeit zum Sieden zu bringen, je weniger schwer die Luft auf dem flüssigen Körper lastet, umso leichter vollzieht sich der genannte Prozess. Von diesen Thatsachen hat man bei der Konstruktion des Papinschen Topfes Gebrauch gemacht, unter dessen Verschlusse der Druck stark genug ist, um Wasser zwar in die für das Erweichen harter Gegenstände (Knochen u. dgl.) notwendige Erhitzung zu versetzen, ohne doch ein Kochen und Sieden desselben herbeizuführen. Wenn wir uns also vorstellen, dass der Siedepunkt des Wassers am Meeresniveau bekannt sei, und dass auf einer höher gelegenen Station an einem guten Thermometer eine Verfrühung für das Eintreten des Siedeprozesses beobachtet wird, so gibt die Differenz zwischen dem unten und oben bestimmten Siedepunkt offenbar ein Mass für die Luftdruck- und damit auch für die Höhendifferenz. Die Berechnung der letzteren erfolgt nach gewissen Formeln, die von Wolla-

*) Reiss bemerkt, dass man, wenn man Tage lang auf einem Flusse von geringem Gefälle (dem Amazonas z. B.) bergab fährt und die Seehöhe barometrisch notiert, sogar höher hinauf gekommen zu sein glauben kann, wenn man nicht die bei barometrischen Ablesungen erforderlichen, oben näher erörterten Kautelen sorgfältig beachtet.

**) Empfehlenswert sind nachstehende Schriften: Schoder, Hilfstafeln zur barometrischen Höhenbestimmung (Stuttgart 1874); Frischauf, Tafeln zur Berechnung barometrischer Höhenmessungen (Wien 1877); Schreiber, Handbuch der barometrischen Höhenmessungen (Weimar 1877).

ston, Gintl, Kunze u. a. angegeben worden sind; für gewöhnlich bedient man sich der Tabellen, welche Regnault entworfen und welchen Zöppritz eine sehr bequeme Form gegeben hat. Zur Messung selbst hat Regnault das sogenannte Thermobarometer konstruiert, das im wesentlichen in vier ineinander geschobenen Messingröhren besteht. Die unterste und weiteste ist mit Wasser gefüllt und stellt das eigentliche Siedegefäss dar; aus ihr entweicht der Dampf, umspielt das mittelst eines Korkes in die innerste Röhre eingesetzte Thermometer und entweicht dann durch eine Oeffnung nach aussen. Das Thermometer, das nur von 75° bis 100° Spielraum zu gewähren braucht, muss in besonderer, von Regnault genau beschriebener Weise graduiert werden. Ehe das Aneroid seine gegenwärtige Vollendung erreicht hatte, griffen Forschungsreisende bei Höhenbestimmungen mit Vorliebe zum Kochthermometer, und D'Abbadie hat während seiner ausgedehnten Wanderungen in den Ländern am oberen Nil sehr schöne Resultate auf diesem Wege erzielt.

Wir verlassen hiemit den Luftdruck und dessen geographische Nutzbarmachung und wenden uns der Frage zu, in welcher Weise wohl die Feuchtigkeit, die Menge des in einem gegebenen Volumen Luft enthaltenen Wasserdampfes ermittelt werden kann. Viele der Vorrichtungen, welche der Scharfsinn der Physiker diesem Zweck dienstbar gemacht hat, haben, näher besehen, nur Wert als Hygroskope, d. h. sie lassen erkennen, dass die Atmosphäre in einem bestimmten Augenblicke feuchter oder weniger feucht ist als in einem früheren, allein sie sind ungeeignet zur exakten Messung des Zuwachses oder Defizits. Instrumente, durch welche eine solche Messung geleistet werden kann, führen den Namen Hygrometer. Es scheint, dass der durch geniale und exzentrische Ideen ausgezeichnete Kardinal Nikolaus von Cusa um 1450 zuerst auf die — wohl kaum wirklich ausgeführte — Konstruktion einer hygroskopischen Wage verfallen ist. Kaum brauchbarer würde sich in Wirklichkeit das „akustische" Hygroskop*) Mersennes erwiesen haben. Besser waren die in der ersten Hälfte des XVII. Jahrhunderts wirklich hergestellten Instrumente von Sanctorius und Maignan eingerichtet; als hygroskopische Substanz war im einen Falle eine Darmsaite, im anderen die Granne des wilden Hafers verwendet, und die Ausdehnung oder Zusammenziehung dieser Gebilde gab allerdings ein Bild von den Schwankungen im Feuchtigkeitsgehalte der Luft. Eifrig suchte man nach Stoffen, welche Feuchtigkeit aufsaugen, und so ward bald von diesem bald von jenem Erfinder ein neuer hygroskopischer Körper als besonders passend anempfohlen. Leder, Elfenbein, Schiefer, Menschenhaar und manches andere stand abwechselnd auf der Tagesordnung, jedoch nur wenigen dieser Substanzen gelang es, dem dauernden Besitzstande der Hygrometrie einverleibt zu werden, so auch nicht der neuerlich in Vorschlag gebrachten Gelatine.

Messende Versuche mit unvollkommenen Hilfsmitteln freilich, aber von einem richtigen Gefühle geleitet, haben als die ersten die Mitglieder der berühmten florentinischen „Accademia del Cimento" angestellt;

*) Eine Saite sollte je nach der Menge absorbierter Flüssigkeit beim Anstreichen einen höheren oder tieferen Ton geben.

der von ihnen zusammengestellte Apparat ist noch vorhanden und von E. Gerland beschrieben worden. Ein Gefäss wurde mit Schnee gefüllt; unten war an ihm an Drähten ein Glaskegel aufgehängt, in welchem sich das Schmelzwasser ansammelte, um durch ein seitliches Ausflussrohr in das kalibrierte und graduierte Messgefäss abzufliessen. Die Menge des Schmelzwassers sollte als Mass der Feuchtigkeit gelten. Saussure und Deluc suchten dagegen die Hygroskope in Hygrometer umzuwandeln; der erstere spannte zu diesem Ende ein wohl ausgekochtes und entfettetes Menschenhaar c durch die Schraube d mit seinem einen Ende in die Klemme a (Fig. 19) ein, während das andere Ende um den kurzen Arm eines Hebels vom Zentrum o geschlungen und durch ein Gewicht p straff gehalten ward. Der längere Hebelarm fungierte als Zeiger an der empirisch — und deshalb wenig verlässlich — geteilten Kreisbogenskala. Empfindlich ist dieses Instrument ohne Zweifel, schon der Athem des Menschen macht den Zeiger unruhig, allein von genauer Messung kann kaum die Rede sein. Trotzdem haben ihrer bequemen Handhabung wegen sowohl dieses Haarhygrometer als auch das ebenso geartete Fischbeinhygrometer von Deluc den Konkurrenzkampf bis heute mit Glück überstanden. Doch zog man ihnen seit dem Bekanntwerden von Daniells Schwefelätherhygrometer dieses feinere Instrument für eigentlich wissenschaftliche Zwecke vor. Fig. 20 gibt eine schematische Ansicht desselben. Ein Glasrohr besteht aus einem horizontalen Mittelstück, welches bei b auf einem Postamente ruht, aus einem kurzen Ansatz c mit der Kugel d und aus einem längeren Ansatze e mit der Kugel f. Dieses Glasrohr ist, statt mit Luft, mit Schwefeläther gefüllt. Nachdem die Kugel d mit Zeug umwickelt ist, kann die Messung beginnen; man legt die warme Hand an die Umhüllung von d und leitet damit eine Destillation des Äthers von c nach e ein. Ist dies geschehen, so träufelt man ebensolchen Äther auf die Umwicklung von d und sieht nach einiger Zeit

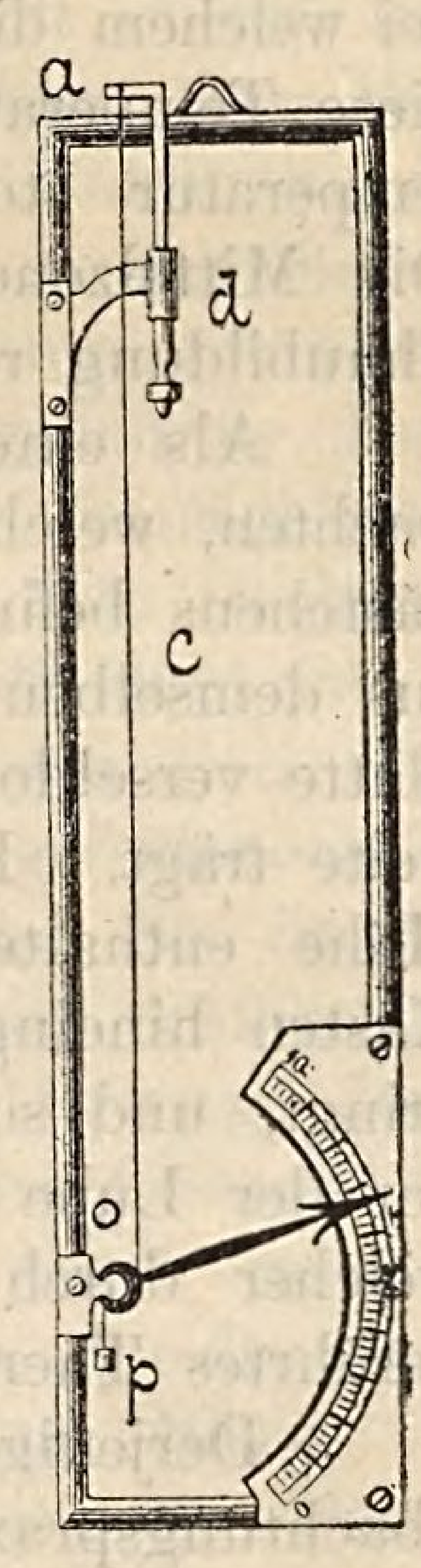


Fig. 19.

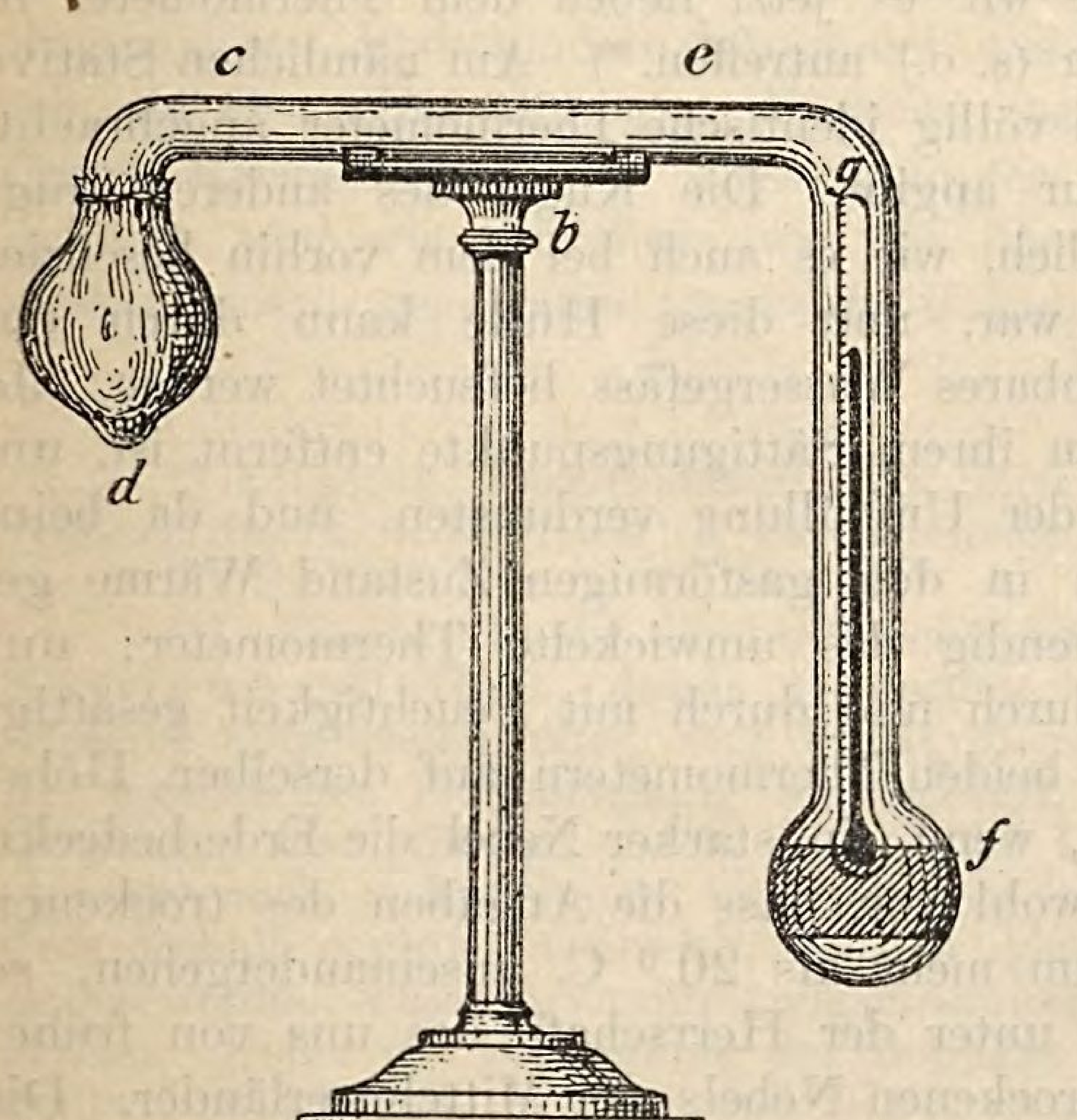


Fig. 20.

an der Aussenseite der Kugel f eine Thauentwicklung vor sich gehen. Ein im Ansatz befindliches, mit der Kugel selbst noch in die Kugel f reichendes Thermometer g gestattet die Festhaltung des Wärmegrades, bei welchem die Thautropfen sich zu zeigen anfangen, und es wird dabei diese Temperatur um so tiefer unter der gleichzeitig abgelesenen Lufttemperatur stehen, je weniger Wasserdampf der Luft beigemischt ist. Die Mittelzone von f trägt einen Goldüberzug, damit der Moment der Thaubildung recht genau konstatiert werden kann.

Als eine Verfeinerung dieser Konstruktion ist diejenige zu betrachten, welche Crova angibt. Im Inneren eines prismatischen Metallkästchens befindet sich eine dünne, innen vernickelte und polierte Röhre aus demselben Metalle, die an der einen Seite durch eine matte Glasplatte verschlossen ist und an der anderen eine Lupe von grosser Brennweite trägt. In der äusseren Hülle ist Schwefelkohlenstoff bis zu $^3/_4$ der Höhe enthalten. Nun wird durch eine Kautschukröhre Luft in den Kasten hineingeblasen, welche den Schwefelkohlenstoff zum Verdampfen bringt, und sobald der Niederschlag eintritt, bemerkt unverzüglich das vor der Lupe befindliche Auge eine Trübung jenes äusseren Lichtkreises, welcher durch den Reflex der Röhrenwände entsteht. Ein seitlich eingeführtes Thermometer markiert den Thaupunkt.

Derjenige Feuchtigkeitsmesser, welcher in der meteorologischen Beobachtungspraxis zu einer Art suveräner Herrschaft sich emporgeschwungen hat, ist übrigens nicht das schon durch seinen Ätherverbrauch ziemlich kostspielige Daniellsche Hygrometer, sondern das sogenannte Psychrometer, von welchem schon Hutton und Leslie eine ganz klare Vorstellung besassen, welches aber erst durch August die ungemein handliche Form erhielt, in welcher wir es jetzt neben dem Thermometer in allen Wildschen Schutzkästen (s. o.) antreffen.*) Am nämlichen Stative sind parallel zu einander zwei völlig identische Thermometer angebracht, deren eines die Lufttemperatur angibt. Die Kugel des anderen trägt eine Leinwandhülle, ganz ähnlich, wie es auch bei dem vorhin beschriebenen Hygrometer der Fall war, und diese Hülle kann durch ein darunter befindliches, verschiebbares Wassergefäss befeuchtet werden. Je weiter die umgebende Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, um so rascher wird das Wasser der Umhüllung verdunsten, und da beim Übergange aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand Wärme gebunden wird, so sinkt notwendig das umwickelte Thermometer; nur dann, wenn die Luft schon durch und durch mit Feuchtigkeit gesättigt ist, bleibt das Quecksilber in beiden Thermometern auf derselben Höhe. Dies geschieht nicht so selten, wenn ein starker Nebel die Erde bedeckt. Andererseits kommt es auch wohl vor, dass die Angaben des trockenen und feuchten Thermometers um mehr als 20 ⁰ C. auseinandergehen, so vorzüglich in der Sahara und unter der Herrschaft des uns von früher her als „Callina“ bekannten trockenen Nebels der Mittelmeerländer. Die Rechnung, welche aus der Temperaturdifferenz beider Thermometer den

*) Assmann hat, wie mit dem Schleuderthermometer (s. o.), so auch mit dem Schleuderpsychrometer gute Erfahrungen gemacht, wenn auch natürlich die geschützte Aufstellung immer vorzuziehen sein wird.

Wassergehalt der Athmosphäre zu ermitteln lehrt, ist eine einfache, sobald man die von August selbst oder von anderen — neuerdings am vollständigsten von Suhle*) — berechneten Tabellen zur Verfügung hat; man muss die Differenz der Thermometerstände mit einem konstanten Faktor multiplizieren, der den Versuchen zufolge den Wert 0,65 hat, man muss dann weiter aus der Tafel das Maximum des Wasserdampfes entnehmen, welches bei der Temperatur des nassen Thermometers die Volumeinheit Luft in sich fassen könnte, muss von diesem Maximum das obige Produkt subtrahieren, die sogenannte „barometrische Korrektion“ anbringen und erhält dann den thatsächlichen Wassergehalt der Luft, welcher (s. o.) noch durch das dem trockenen Thermometer entsprechende Maximum des Wasserdampfes dividiert werden muss, um die relative Feuchtigkeit zu bekommen. Für den Fall, dass das an der Leinwandbedeckung haftende Wasser sich in gefrorenem Zustande befindet, ist die Zahl 0,56 für 0,65 einzusetzen. So ist das Psychrometer zweifelsohne das zweckdienlichste Mittel zur Bestimmung sowohl der Dampfspannung als auch der Dampfsättigung, deren Kenntnis gleich wünschenswert ist. Bestimmt doch ersteres Element den Druck, welchen die Wasserdampfatmosphäre für sich allein ausüben würde, während das zweite nach Schmids treffendem Ausdrucke**) „das objektive Mass für die subjektive Empfindung von Nässe und Trockenheit“ abgibt und sich damit als klimatisch einflussreichen Faktor dokumentiert.***)

Wenn man von den Feuchtigkeitsverhältnissen der Luft Kenntnis besitzt, hat man nur eine für die Klimatologie freilich ungemein wichtige Thatsache gewonnen, allein manche andere Frage über die Beziehungen zwischen Atmosphäre und flüssigem Wasser ist damit noch keineswegs gelöst. Insbesondere drängt sich uns die Doppelfrage auf: wie messen wir die Quantität flüssigen Wassers, welche in der Form von Regen durch Kondensation des Wasserdampfes aus der Luft zu uns herabgelangt, und wie versichern wir uns über die Grösse der Wassermenge, welche einem gegebenen Quantum Flüssigkeit auf dem Wege der Ver-

*) August, Psychrometertafeln, nach den neuesten Untersuchungen berechnet, Berlin 1848; Suhle, Psychrometertafeln, Köthen 1883.

**) Schmid, a. a. O., S. 617.

***) Eine dritte für die Luftfeuchtigkeit charakteristische Grösse ist das Sättigungsdefizit, dessen Bedeutung, nachdem ursprünglich Wild auf dasselbe hingewiesen hatte, von den Hygieinikern betont und der Beachtung der eigentlichen Fachforschung anempfohlen wurde. Das Sättigungsdefizit ist derjenigen Dampfmenge gleich, welche die Luft unter den obwaltenden Umständen noch aufzunehmen imstande ist; seine Bestimmung erscheint besonders deshalb wichtig, weil sich, wie wir gleich nachher zu sehen Gelegenheit haben werden, scharfen Verdunstungsmessungen grosse Schwierigkeiten entgegenstellen. Ueber die Berechnung des Betrages hatte sich eine Meinungsverschiedenheit zwischen H. Meyer und Weihrauch geltend gemacht, die, soweit wir sehen können, damit ihren Abschluss fand, dass ersterer sich Weihrauchs graphisches Verfahren zur Eruierung der Spannungsmaxima aneignete, so dass nun die Berechnung der Mittelwerte des Defizits aus einer längeren Reihe von Beobachtungen leicht erfolgen kann. Zur Bestimmung der gesuchten Grösse, wenn Lufttemperatur und Thaupunkt gegeben sind, gab Meyer eine dem Rechenschieber („sliding-rule“) nachgebildete maschinelle Vorrichtung an.

dunstung in einer gegebenen Zeit entzogen wird? Zur Beantwortung dieser beiden ersichtlich sehr nahe unter sich verwandten Fragen dienen die Regenmesser, für welche auch die synonymen Ausdrücke Ombrometer, Udometer, Hyetometer Verwendung zu finden pflegen, und die Verdunstungsmesser oder Atmometer.

Ob Mariotte bei seinen früheren Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Regenfall und Quellenbildung sich bereits eines wirklichen Ombrometers bediente, muss dahingestellt bleiben; jedenfalls zeigte Hooke 1670 ein solches Instrument, und zwar gleich ein mit Registriervorrichtung versehenes, der englischen Gesellschaft vor, und Townley that sieben Jahre später das gleiche. Im ersteren Falle ward der Niederschlag dem Volumen, im zweiten dem Gewichte nach bestimmt. Jedenfalls ist die moderne Methode der Regenmessung in Mariottes „Traité des mouvement des eaux" deutlich vorgezeichnet, wie denn auch deren Prinzip ein äusserst einfaches ist. An all den Orten, deren Regenmengen wir zu vergleichen wünschen, denken wir uns Zylinder von gleicher Basisfläche aufgestellt, die nach oben offen sind. Die Höhe, bis zu welchen darin das Regenwasser ansteigt, in Millimeter ausgedrückt, gibt uns offenbar ein Bild der wirklichen Regenmenge, wobei natürlich auf die durch Verdunstung und Einsickern in den Boden entstehenden Verluste keine Rücksicht genommen wird. Fig. 21 gibt uns ein Bild von jenen Ombrometern, welche auf Anregung v. Bezolds an sämtlichen Stationen Bayerns eingeführt sind. Aufnahmegefäss ist der aus starkem Zinkblech angefertigte Zylinder a, der durch den Deckel D verschlossen werden kann. Die Masse sind so gewählt, dass einer Regenmenge von 50 cbcm eine Regenhöhe von 1 mm entspricht; man hat also nur die Zahl der im Regenmesser enthaltenen Kubikzentimeter Wasser mit 2 zu multiplizieren und von dem Produkte zwei Stellen abzuschneiden, um die Regenhöhe in mm zu erhalten. Unten besitzt die Aufnahmekapsel eine konische Verengerung, welche in einem Röhrchen ausgeht, und durch dieses fliesst das Regenwasser in das Sammelgefäss f, welches, etwa 4 Liter haltend, durch einen leicht lösbaren Bajonettverschluss mit a verbunden ist. Das Sammelgefäss ist von einem hohen Blechzylinder mit Thüre umgeben, welcher als Unterlage des Aufnahmegefässes dient, und in dieser Zusammensetzung ruht das ganze auf drei fest in den Erdboden eingeschlagenen Pfählen. Will man bei ungünstigem Wetter die Messung im Zimmer vornehmen, so kann man den Verschluss mit Hilfe des von f an einer Kette herabhängenden Deckels d bewirken; für gewöhnlich aber giesst man das gesammelte Wasser sofort in den für den Gebrauch im Untersatze aufbewahrten Messzylinder m. Gewöhnlich stehen zwei völlig übereinstimmende Regenmesser zu abwech-

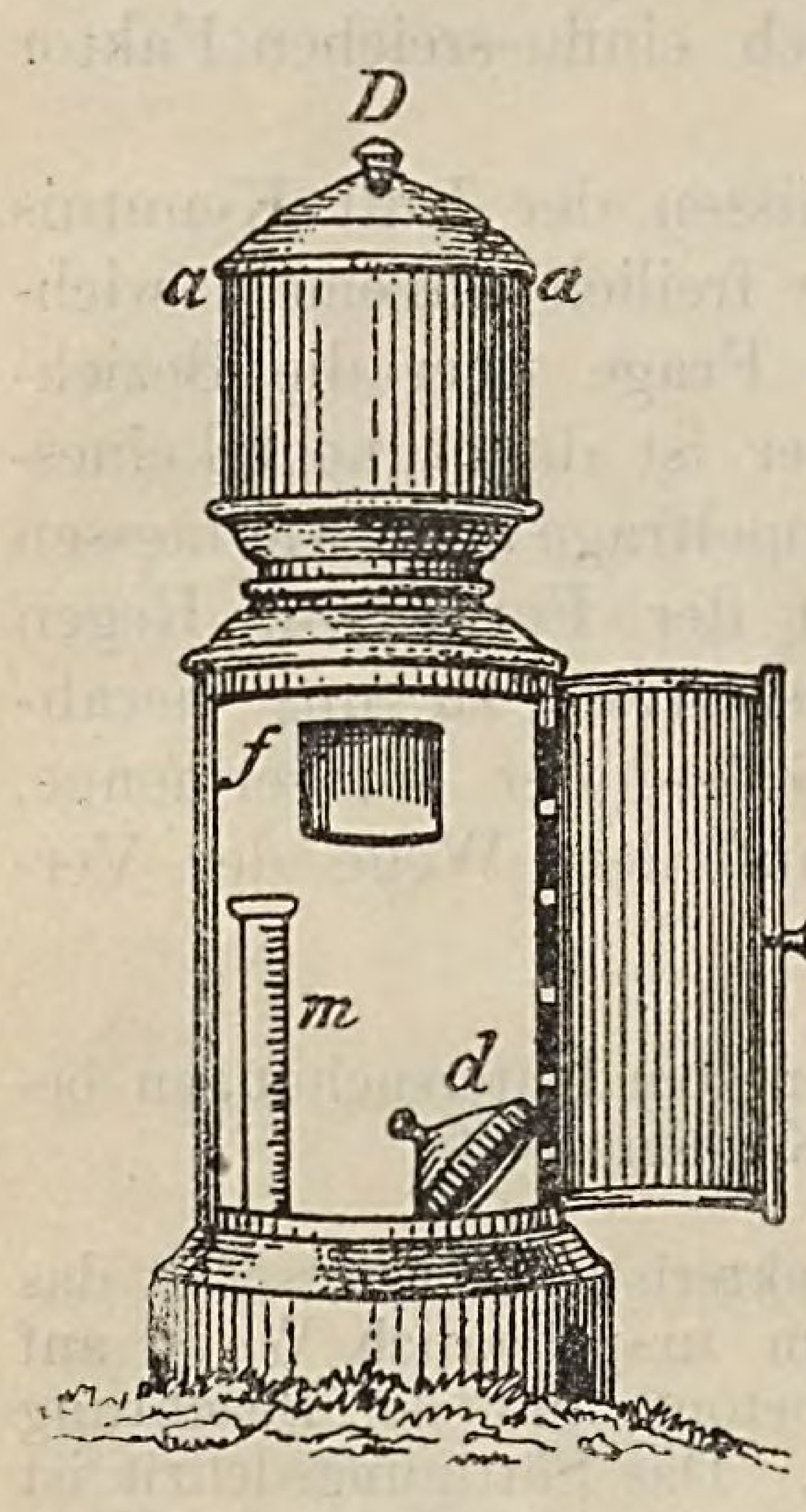


Fig. 21.

selndem Gebrauche neben einander, der eine offen, der andere mit dem Deckel D zugedeckt. Im grossen und ganzen ähneln sich die in den verschiedenen Ländern angewendeten Regenmesser sehr, doch finden sich natürlich auch einzelne Abweichungen in den Details und in den Abmessungen vor. So ist beispielsweise bei jenen Instrumenten, mit welchen auf Studničkas Betrieb die ombrometrischen Stationen Böhmens versorgt wurden, die Auffangfläche doppelt so gross als bei den bayerischen Udometern.

Von den selbstregistrierenden Werkzeugen dieser Art möchte wohl Rungs Ombrograph besonderer Rücksichtnahme würdig sein, für welchen — ähnlich wie für einen der verschiedenen oben besprochenen Barographen — das Prinzip der Zeiger- oder Briefwage massgebend ist. Eine grosse konische Sammelschale ist auf dem Dache des Hauses aufgestellt, in welchem der Apparat sich befindet, und von ihr läuft das Wasser durch ein zweimal rechtwinklig gebogenes Rohr zu einer Schale, deren horizontale Drehungsachse an einem bifilar aufgehängten Rahmen befestigt ist. Der Behälter besteht aus zwei Fächern und leert sich von selbst, sobald er eine Flüssigkeitsmenge aufgenommen hat, welche 5 mm Regenhöhe entspricht; der Prozess der Ausleerung vollzieht sich durch Umkippen, indem das bisherige untere, völlig gleich gestaltete Behälterfach an die Stelle des oberen tritt, u. s. f. Das Zuleitungsrohr durchsetzt eine oberhalb des Behälters befindliche Tischplatte, auf welcher ein langer Papierstreifen, der mindestens für ein Halbjahr ausreichen muss, auf einer Rolle aufgewickelt liegt. Von hier geht der Streifen durch die Tischplatte hindurch und um einen horizontal liegenden Zylinder herum, der sich, durch ein Uhrwerk gedreht, um seine Achse bewegt und das Papier in einer Stunde um 2 cm vorwärts schiebt. Auch werden auf diesem Papier die Stundenintervalle markiert. Die beiden Schnüre aber, an welchen der Rahmen mit dem Wasserbehälter hängt, gehen jeweils über zwei gleichgrosse, vertikal neben einander stehende Räder, an deren Achse in der Mitte sich der Drehpunkt eines Hebels befindet. An dem längeren Ende dieses Hebels ist eine Stange angebracht, welche sich fortwährend nach rechts vorschiebt, wenn das Wasser im Behälter steigt; an der Stange ist wiederum ein kleines, gebogenes Silberröhrchen befestigt, dessen eines Ende in einem länglichen, den Schreibstoff enthaltenden Blechtroge entlang gleitet, während das andere auf dem abrollenden Papiere ruht und auf ihm die ombrometrische Kurve verzeichnet. Freilich sind, um die Ablesung zu einer genau messbaren zu machen, noch viele Details von Bedeutung, auf welche an diesem Orte nicht näher einzugehen ist.

Beim gewöhnlichen Regenmesser ist gleichfalls mancherlei zu berücksichtigen, wenn die Beobachtungen verlässig sein sollen. So kommt z. B. sehr viel auf die Höhe an, in welcher der Regenmesser über dem Boden angebracht ist,*) und eben aus diesem Grunde suchte man (s. o.)

*) Messende Versuche über den Einfluss der Höhe scheint zuerst Dines angestellt zu haben, der die Niederschlagsmengen zweier beziehungsweise auf der Platform und am Fusse eines 15 m hohen Turmes mit einander verglich und das Verhältnis der in den dort angebrachten Ombrometern aufgesammelten

für die bayerischen Ombrometer dadurch ein gleichförmiges Verhalten zu erzielen, dass man sie auf einen Pfahlrost setzte. Da die Luftbewegung die Hauptschuld an den aus der verschiedenen Höhe resultierenden Abweichungen trägt, so umgibt man nach Niphers Vorschlage, den Börnstein als sehr probat erkannt hat, das Instrument mit einem Schutztrichter, dessen enger Teil das untere Ende des Auffanggefässes umschliesst, während der weite obere Rand mit dem Rande des Udometers abschneidet und mit einem horizontalen Ringe abschliesst. Durch diesen Trichter wird der Wind nach unten hin abgeleitet, und es entsteht so über dem Regenmesser die gleiche Luftbewegung wie in der Umgebung. Je stärker der Wind weht, um so besser bewährt sich die Leistungsfähigkeit des Schutztrichters, dessen wesentlicher Nachteil darin besteht, dass er bei reichlichem Schneefalle sich zu rasch anfüllt und alsdann seine Dienstleistung einstellt. — Eine andere Art selbstregistrierender Regenmesser, welche die Firma von O. Ney in Berlin neuerdings vielfach für meteorologische Observatorien anfertigt, ist hinsichtlich seiner Einrichtung wohl durch Fig. 22 genügend gekennzeichnet.

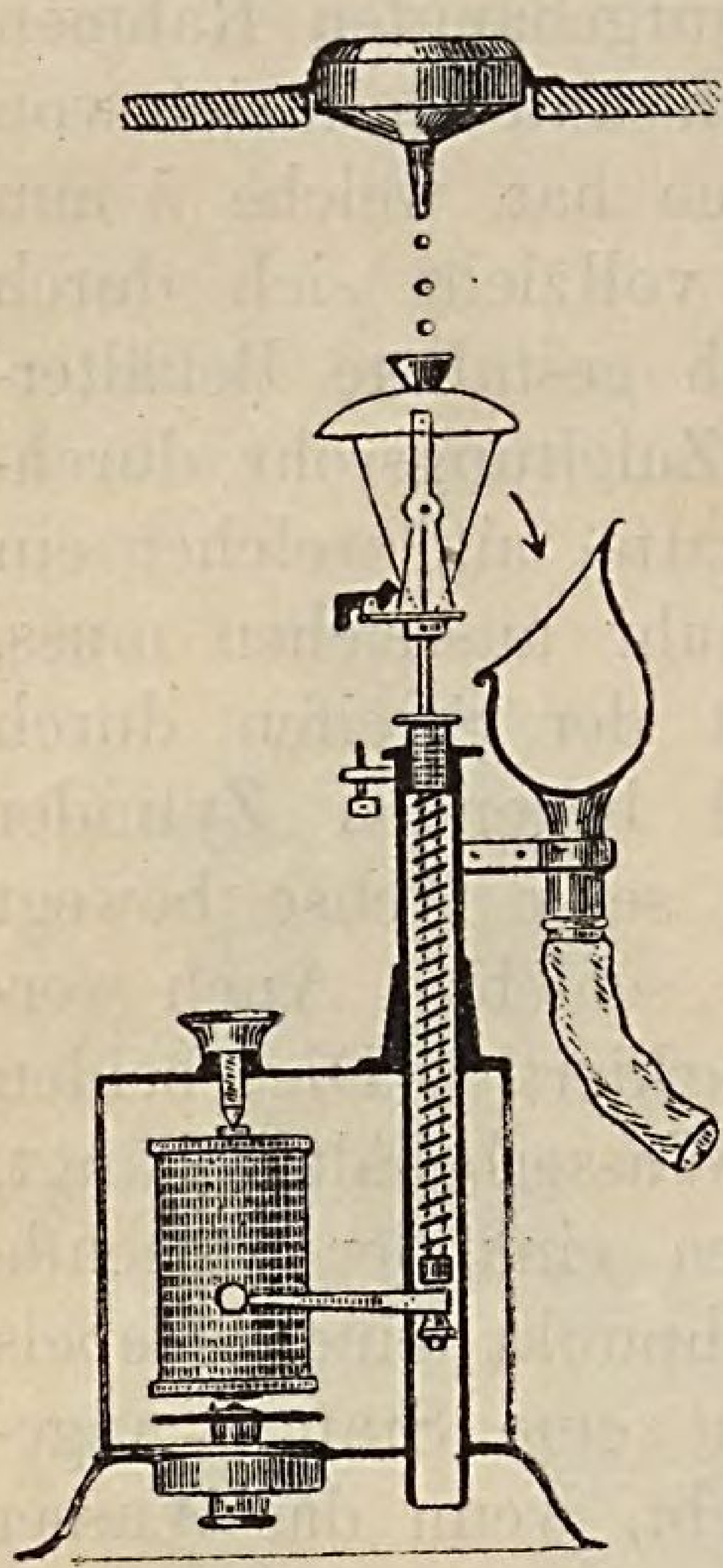


Fig. 22.

Wir haben bis jetzt keinen Unterschied hinsichtlich der Form der Niederschläge gemacht; es galt uns gleich, ob dieselben als tropfbares Wasser, als Schnee oder als Eis zu uns herab gelangten. Käme es einzig und allein darauf an, zu wissen, wieviel Wasser in einer bestimmten Zeit die Lufthülle unserer Erde an diese selbst abgegeben hat, so wäre in der That kein Grund zu besonderer Unterscheidung der Aggregatzustände vorhanden, denn Eis und Schnee gehen ja beim Schmelzen doch in gewöhnliches Wasser über und werden als solches vom Ombrometer registriert. Allein die Klimatologie wird uns darüber belehren, dass für viele Fragen es durchaus nicht gleichgiltig ist, ob die eine oder andere Form aus der Atmosphäre ausgeschieden wird, und so empfiehlt es sich, diesen Umstand auch schon bei den ge-

Jahresquantitäten dem Zahlenverhältnisse 100 : 127 entsprechend fand. Ganz ähnlich schätzte Galle die Differenz zwischen den Notierungen eines im Hofe und eines auf der Gallerie seiner Sternwarte befindlichen Regenmessers auf 33 Prozent des Gesamtbetrages. Die Erklärung dieser zunächst ziemlich auffälligen Erscheinung liegt nach Jevons in dem Umstande, dass das Auffanggefäss das Fortschreiten der vom Winde bewegten Luft verhindert, weshalb die aus ihrer Bahn abgelenkten Luftmassen sich seitlich vom Instrumente ihre Bahn zu suchen gezwungen sind. In diese Wege geraten dann auch viele Regentropfen oder Schneeflocken, die eigentlich ganz oder nahe normal auf die Auffangfläche hätten treffen sollen, während auf dem Erdboden selbst dieses Wirbeln an der Kante des Expositionsgefässes und damit auch der Verlust eines Teiles des fallenden Wassers vermieden ist. Mithin wird die Regenhöhe hart an der Erde selbst das gesuchte Maximum sein.

wöhnlichen meteorologischen Aufschreibungen zu berücksichtigen. Bei dem kombinierten Regen- und Schneemesser, den Hellmann erfunden, Assmann auf seine Brauchbarkeit geprüft hat, ist denn auch diesem Punkte gebührend Rechnung getragen worden.

Die Atmometrie hat mit grossen Schwierigkeiten zu ringen sowohl hinsichtlich ihrer theoretischen Fundierung als auch hinsichtlich der Apparate, welche als Verdunstungsmesser dienen sollen. Die Intensität der Verdunstung einer der Luft frei ausgesetzten Wasserfläche ist nach Sprung begünstigt durch hohe Temperatur, durch geringe relative Feuchtigkeit der über dem Wasser lagernden Luftsäule, durch die Bewegung in der Luft und endlich durch schwachen Luftdruck, weil ein stärkerer die Loslösung der Dampfmoleküle von den Wassermolekülen verhindert. Auf diese Erwägungen hin hat Weilenmann eine Formel aufgestellt, welche die Verdunstungshöhe aus den gegebenen meteorologischen Elementen zu berechnen gestattet. Allerdings scheint auch noch auf den neuerdings von Stefan hervorgehobenen Umstand Rücksicht genommen werden zu müssen, dass die Verdunstung nicht, wie man anzunehmen geneigt sein möchte, dem Flächeninhalt sondern dem Umfang des die Flüssigkeit enthaltenden Beckens proportional ist, dass somit, da die Fläche im quadratischen Verhältnis irgend einer der Hauptabmessungen abnimmt, eine kleine Wasserfläche verhältnismässig rascher als eine grosse der Verdampfung anheimfällt.

Um durch Messung den Betrag der Verdunstungsgrösse zu erhalten, bediente man sich früher des rohen Verfahrens, das Gewicht eines Wassergefässes zu Anfang und zu Ende der Versuchszeit zu bestimmen. Unter den vervollkommneten Atmometern oder Evaporimetern hat dasjenige von Piche vielen Anklang gefunden. Eine lange, schmale Glasröhre, in $^1/_{10}$ ccm geteilt, wird nahe bis zum freien Rande mit destilliertem Wasser gefüllt, auf den Rand wird ein kreisförmiges Scheibchen aus ungeleimtem, porösem Papier gelegt, das in der Mitte eine ganz kleine Öffnung hat und durch eine Feder an die Röhre angedrückt wird. Alsdann wird das Instrumentchen umgekehrt und mittelst einer am geschlossenen Rohrende befindlichen Öse aufgehängt. Das Papierscheibchen saugt sich mit Wasser voll, und wenn dieses verdunstet, tritt sofort neues Wasser aus der Röhre nach. Die Verdunstungsmenge wird sonach direkt durch das Sinken des Niveaus im Rohre gemessen. Langer hat dieses Atmometer einer sorgfältigen Prüfung unterzogen und sich im allgemeinen sehr befriedigt über dessen Leistungen ausgesprochen. Dasselbe schmiege sich vermöge des geringen Wasserquantums, welches es fasst, sehr gut den äusseren Einflüssen an, und manche der ihm anhaftenden Mängel würden noch durch Anbringung in der Schutzhütte zu beseitigen sein. Auch Riegler teilt die günstige Meinung vom System Piche, hebt aber die allerdings einflussreiche Thatsache hervor, dass eine freie Wasserfläche ganz anders und zwar schwächer verdampfe als eine Fliesspapierfläche, und dass man also, wenn es sich nicht nur um vergleichende Beobachtung sondern um absolute Messung handle, zunächst den Zahlenwert der Wassermengen kennen müsse, welchen zwei gleich grosse Flächen der bezeichneten Art unter sonst gleichen Umständen durch Exhalation von sich geben. Riegler ist geneigt, diesen Quo-

tienten, durch welchen also sämtliche Ablesungen am Evaporimeter zu korrigieren wären, im Durchschnitte $= 1/2$ (genauer $55/90$) zu setzen. Auch ist es ein unleugbarer, jedoch nicht vermeidbarer Nachteil, dass das Instrument nur während des Sommerhalbjahres verwendbar ist. Schon dann, wenn an sich die Temperatur etwas kälter zu werden beginnt, scheint nach Kunze der obige Bruch $1/2$ durch einen anderen, der Einheit näher kommenden ersetzt werden zu müssen. Als ein störender Einfluss darf bei Piches Konstruktion auch der hydrostatische Druck angesehen werden, mit welchem die Wassersäule in der Röhre auf dem Scheibchen lastet. Dem ist jedoch leicht zu begegnen; man braucht nur mit Cantoni ein U-förmig gebogenes Glasrohr anzuwenden, den einen Schenkel abzuschliessen und das Verdunstungspapier auf das offene Ende des anderen Schenkels zu legen. Bei gleichem Konstruktionsprinzipe ist das Morgenstern-Lambrechtsche Atmometer eine ebenso komplizierte und feine Vorrichtung, wie dasjenige von Piche eine einfache und leicht zu handhabende ist. Ähnlich wie bei Cantoni ruht die kreisrunde Fliesspapierscheibe auf dem kürzeren, dickeren Schenkel einer U-Röhre; die kleine Öffnung im Zentrum ist durch ein Stückchen Watte bedeckt, welche das Wasser aufsaugt und so die Verdunstungsscheibe befeuchtet. Die kapillare Saugkraft der Watte bürgt dafür, dass für jedes noch so kleine Quantum Flüssigkeit, welches durch Verdampfung verloren geht, sofort der Ersatz eintritt. Was nun aber dieses Atmometer wesentlich von dem vorigen unterscheidet und seine Genauigkeit beträchtlich erhöht, das ist die Anbringung eines besonderen dünnen Röhrchens, welches als kommunizierende Röhre mit dem horizontalen Mittelstück der U-Röhre in Verbindung steht und als Mikroatmometer zu der Bürette selbst etwa in demselben Verhältnisse steht, wie der Sekundenzeiger zum Minutenzeiger einer Uhr. Zunächst wird das verdampfte Wasser nicht der grossen sondern der kleinen Röhre entzogen; sowie aber die Verdunstung eine gewisse Höhe erreicht hat, schnellt die Wassersäule im Mikroatmometer plötzlich in die Höhe, es gelangt ein wenig Luft in die Bürette, und der Wasserspiegel in dieser beginnt zu sinken. Oben ist dieser Spiegel mit einem, die Ablesung zugleich erleichternden Quecksilberverschlusse versehen.

Mit Verbesserung der atmometrischen Methoden hat sich auch sehr eingehend Wild beschäftigt; er konstruierte zur Messung der Mengen Wasser, welche die Verdunstung einer ausgedehnten Wasserfläche, der eines Sees z. B., entzieht, einen im Wasser selbst schwimmenden Apparat und für gewöhnliche Zwecke einen zweiten, der — ähnlich wie der Ombrograph von Rung (s. o.) — das System der Briefwage zum Vorbilde nimmt. Forster hat dieses Wildsche Wageatmometer dazu benützt, den Reduktionsquotienten des Picheschen Evaporimeters durch eine längere Versuchsreihe zu ermitteln. Auf vielen Observatorien fand man namentlich früher das Atmometer von Prestel, welches auf den ersten Blick alles leisten zu können scheint, was man nur von einem solchen Instrumente zu verlangen ein Recht hat. Es besteht (Fig. 23) aus einem flachen Blechkasten a, der an der der Ausflussöffnung gerade gegenüber liegenden Seite mit einer halbzylindrischen Erweiterung versehen ist. In diese ist ein oben zugeschmolzenes Glasrohr b eingesetzt,

an dessen unterem Ende sich eine kleine — kreisförmige oder noch gewöhnlicher halbkreisförmige — Öffnung c befindet. Das Rohr ist mit Wasser gefüllt, dessen Ausflusse der Luftdruck so lange entgegenwirkt, bis durch die fortschreitende Verdunstung jenes bisher unter dem Wasserspiegel befindlich gewesene Loch c frei wird. Sowie dies geschehen, kann eine Luftblase in das Rohr eintreten, worauf eine entsprechende Quantität Wasser austritt, den Wasserspiegel wieder erhöht und damit auch erneuten Abschluss der Öffnung c bewirkt. Die im oberen Teile des Rohres sich ansammelnde Luft besitzt dasselbe Volumen, wie das aus dem Blechkasten durch Verdunstung entschwundene Wasser-Parallelepipedum, von welchem zwei Kanten an und für sich gegeben sind, während nunmehr, da man den Rauminhalt kennt, auch die dritte gefunden werden kann. Dies ist aber eben die gesuchte Verdunstungshöhe, und um diese bequem ablesen zu können, wählt man die Teilung der Glasröhre so, dass jeder Teilstrich eine Senkung des Wasserniveaus um 0,1 mm markiert. Mittelst des Hahnes a wird das Wasser abgelassen, um vor der Justierung für eine neue Beobachtung mit frischem Wasser gefüllt zu werden. So handlich aber das Atmometer von Prestel auch ist und so genau es zu arbeiten scheint, so ist es doch leider gleichwohl nach Ebermayer mit einem Übelstande behaftet, welcher die damit erhaltenen Resultute illusorisch oder doch unsicher macht. Wir sahen nämlich, dass alles darauf ankommt, eine vollständige zeitliche Identität zwischen dem Sinken der Wasserfläche unter die Öffnung c und dem Eindringen der Luftblase durch dieselbe herbeizuführen, allein die Luft findet an den scharfen Rändern des Loches ein Hindernis, welches ihren sofortigen Durchzug hindert. Es scheint auch kaum möglich, dass diese aus der Adhäsion der Luft am Metallrande entspringende Fehlerquelle durch eine Abänderung der Konstruktion unschädlich gemacht werde. Angesichts dieses leidigen Mangels eines sonst so zweckmässigen Messwerkzeuges ist es wohl zu begreifen, dass andere Meteorologen, um den Austritt des Wassers aus der graduierten Röhre zu regulieren, wieder auf dieselbe Idee zurückgegriffen haben, welche der Sturzflasche unserer früheren, jetzt freilich wohl nur noch in wenigen Haushaltungen gebrauchten Schiebelampe zugrunde liegt. In dieser Hinsicht verdient insbesondere das Atmometer von Osnaghi Beachtung.

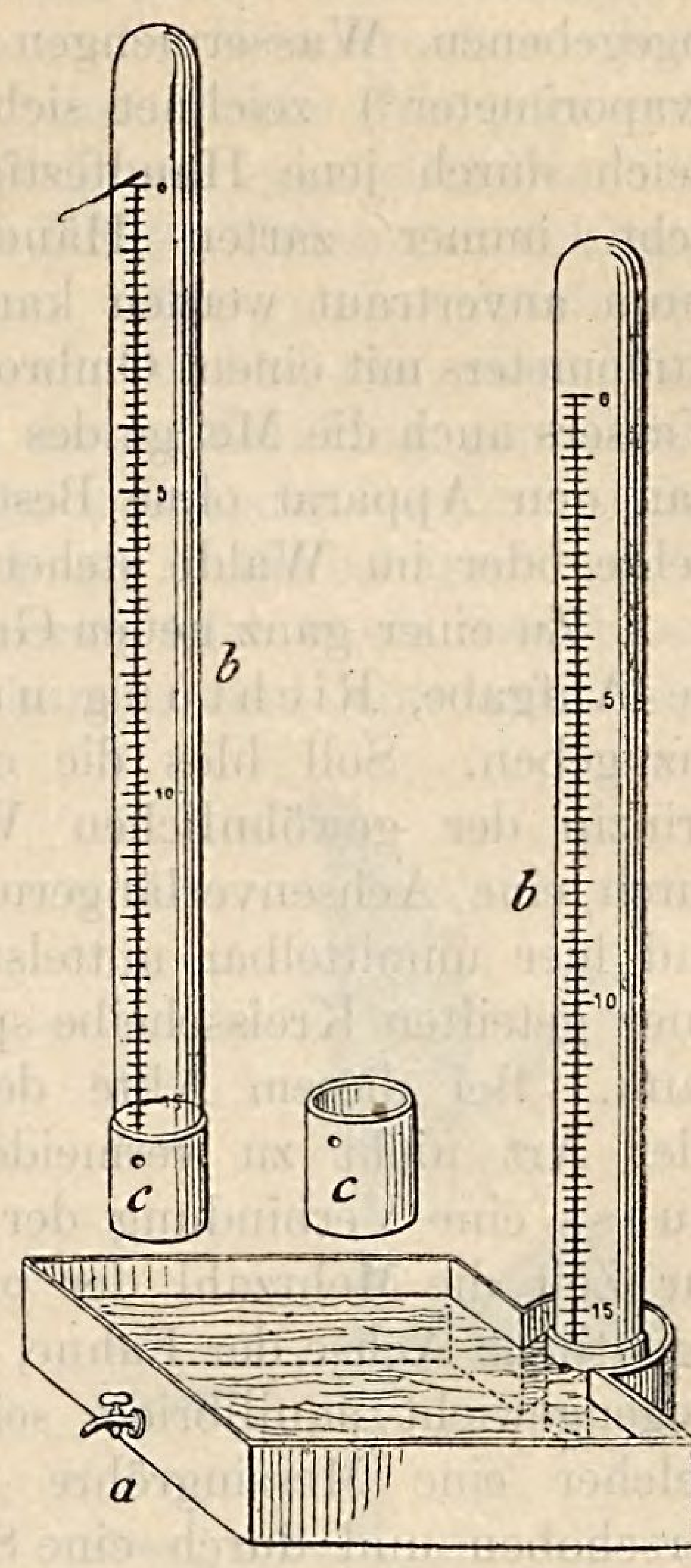


Fig. 23.

Mit besonderem Interesse hat sich neuerdings Ebermayer der für forstlich-meteorologische Zwecke in der That hervorragend wichtigen

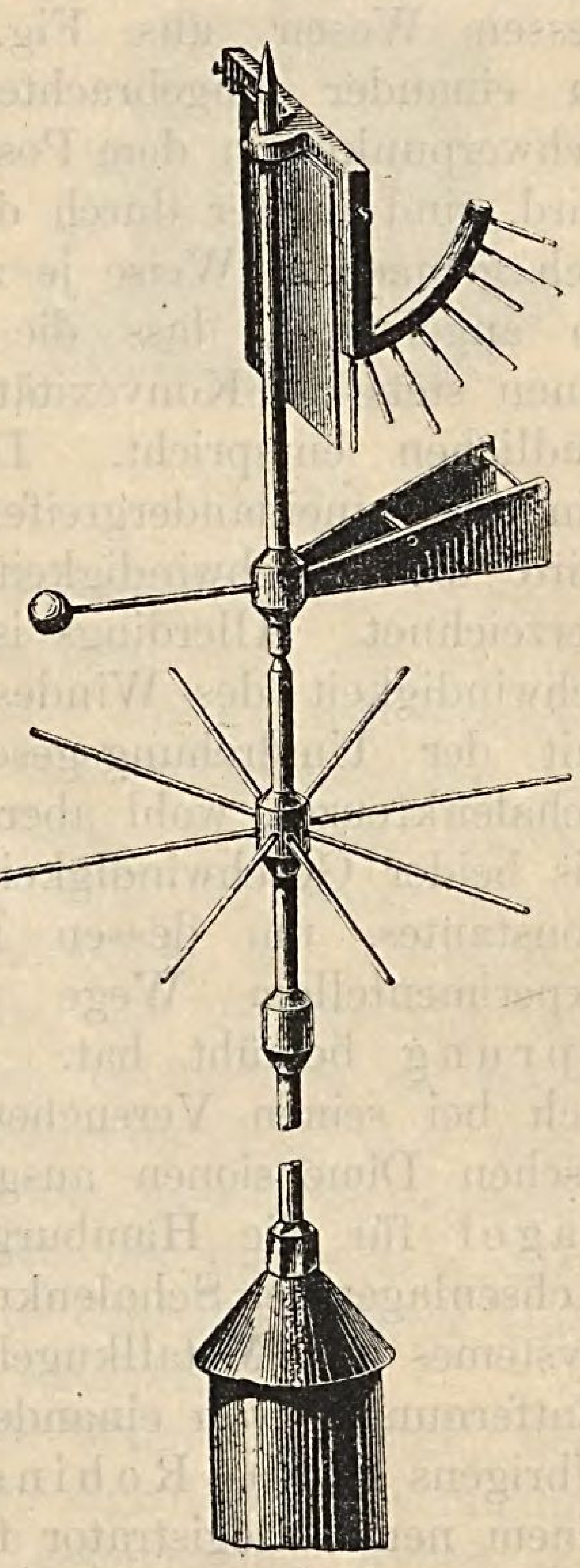
Technik der Atmometrie angenommen, indem er sich erfolgreich bemühte, sowohl die Verdunstung freier Wasserflächen als auch durchfeuchteter Erdmassen sowie auch die von Blättern und Zweigen an die Atmosphäre abgegebenen Wassermengen scharfer Messung zu unterwerfen. Sein Evaporimeter*) zeichnet sich durch überraschende Einfachheit und zugleich durch jene Handfestigkeit aus, ohne welche ein Instrument den nicht immer zarten Händen des forstlichen Beobachtungspersonals kaum anvertraut werden kann. Durch eine sinnreiche Vereinigung des Atmometers mit einem Ombrometer kann neben der Menge des verdunsteten Wassers auch die Menge des gefallenen Wassers ermittelt werden, so dass man den Apparat ohne Besorgnis beliebig lange unkontrolliert auf dem Felde oder im Walde stehen lassen kann, um ihn später abzulesen.

Zu einer ganz neuen Gattung meteorologischer Instrumente führt uns die Aufgabe, Richtung und Stärke des herrschenden Windes anzugeben. Soll blos die erstere Aufgabe gelöst werden, so tritt das Prinzip der gewöhnlichen Windfahne in sein Recht, welch letztere durch eine Achsenverlängerung bis in das Beobachtungszimmer reichen und hier unmittelbar mittelst eines senkrecht zur Achse stehenden, über einer geteilten Kreisscheibe spielenden Zeigers die Windrichtung markieren kann. Bei diesem Akte der Übertragung werden natürlich Friktionen aller Art nicht zu vermeiden sein, zu deren möglichster Beseitigung Fuess eine Verbindung der einzelnen Teile angegeben hat, von welcher zur Zeit die Mehrzahl der preussischen Stationen Gebrauch macht. Die eigentliche Achse der Fahne, welch letztere natürlich durch ein sphärisches Gegengewicht äquilibriert sein muss, ist eine dünne Stahlstange, auf welcher eine Messingröhre — oder eine Kombination von solchen — verschoben und durch eine Schraube festgeklemmt werden kann. In das untere Ende dieser Röhre wird der Zeiger geschoben. Umgeben aber ist die Messingröhre wiederum von einer Eisenröhre mit einem durch drei Schrauben an ihr befestigten Kopfstücke; dieses ist koachsial durchsetzt von einem Kegelstumpf aus gehärtetem Stahle, auf dessen oberer gekrümmter Fläche das Verbindungsglied von Windfahne und Gegengewicht aufruht, während die Stahlachse den Konus längs seiner Achse durchbohrt und von ihm geführt wird. Das Kopfstück ist parallelepipedisch, das Führungsstück, wie wir wissen, kegelförmig, und so bleibt noch ein freier Raum übrig, der mit Öl gefüllt wird. Dadurch wird das Gleiten der Reibungsflächen an einander hin so sehr erleichtert, dass selbst bei heftigem Winde das bekannte knarrende Geräusch der Fahne sich nicht vernehmen lässt. Um Windfahnen, die an exponierten Stellen, z. B. auf hohen Bergen, aufgestellt sind, von einem bequemen Orte aus beobachten zu können, bringt H. Leupold an einem den oberen Teil der Stange umfassenden Rohre zwei dreieckige Platten an, deren gegenseitige Stellung bei jeder Windrichtung eine andere ist. Durch vorgängigen Versuch wird festgestellt, welche Stellung und Richtung zusammengehören, diese Erfahrungen werden tabellarisch zusammengestellt, und sowie also der Beobachter aus der Ferne eine bestimmte Anordnung

*) Wir enthalten uns hier einer detaillierteren Beschreibung, weil unseres Wissens vom Autor selbst noch nichts über diese seine neuen evaporimetrischen Methoden veröffentlicht worden ist.

der zwei Dreiecke vor sich sieht, kann er aus seinem Signalbuche entnehmen, aus welcher Himmelsrichtung der Wind gerade weht.*)

Ungleich schwieriger gestaltet sich natürlich die Bestimmung der Windstärke oder, wie man auch sagen kann, des Winddruckes. Eine schon frühzeitig auftauchende Idee war die, eine Fläche von gegebener Grösse dem Ansturm der bewegten Luft direkt entgegenzustellen und aus dem Wege, welchen diese frei bewegliche Fläche alsdann zurücklegte, auf die Intensität des Windes zu schliessen. Bouguer schrieb der Fläche eine translatorische Bewegung vor; er brachte vor eine hohle Röhre von quadratischem Querschnitte eine deren Mündung genau verschliessende Platte, welche, solange sie nicht gebraucht werden sollte, durch eine Spiralfeder in einer bestimmten Lage zurückbehalten wurde; je nachdem der Wind stärker oder schwächer war, trieb er die Verschlussplatte tiefer oder weniger tief in die Röhre hinein, und eine gradlinige Teilung hätte dann die Stärke des Windstosses genau zu schätzen erlaubt, wenn man die mathematischen Gesetze dieses Stosses und des von festen Körpern der Luft entgegengestellten Widerstandes gekannt haben würde. Beaufoy liess es sich deshalb angelegen sein, gerade im Interesse der wissenschaftlichen Anemometrie jene Gesetze näher zu ergründen. Andere Forscher zogen der progressiven Bewegung der Stossplatte eine drehende vor, so namentlich Poleni und Pickering; ein leicht beweglicher Stab hängt bei absoluter Windstille vertikal herab und trägt an seinem unteren Ende eine rechteckige Platte, die unten, in der Verlängerung des Achsenstabes, einen Zeiger trägt. Dieser Zeiger steht in der Ruhelage senkrecht über dem tiefsten Punkte einer hohlen Halbkugel, deren Kreisrand der Windrose entsprechend geteilt ist. Der dann einsetzende Wind hebt die Platte, so dass ihr Zeiger auf einem der in die Hohlkugel eingeritzten und geteilten Kreise einen bestimmten Winkel durchläuft: dem Sinus dieses Winkels ist die Stärke des Windes proportional. Diese Methode war lange aufgegeben, bis vor wenigen Jahren Wild sie wieder der Vergessenheit entriss. Bei Wilds Windstärketafel ist zugleich die Windfahne ein integrirender Bestandteil, wie Fig. 24 deutlich macht; die Graduierung der Bogenskala muss empirisch vorgenommen werden.


Fig. 24.

*) Die Angabe der Windrichtung erfolgt bekanntlich nicht dadurch, dass man die Anzahl von Graden, Minuten, Sekunden notiert, um welche die momentane horizontale Windkomponente von einer festen Anfangsrichtung abweicht, sondern durch Vergleichung mit der Windrose, welche vier Kardinal-

Indem wir von einer näheren Beschreibung des Windmühlenanemometers absehen, welches C. v. Wolf und Martin in sehr verschiedener Konstruktion aber doch mit dem gemeinsamen Gedanken in Vorschlag brachten, dass die Windmühle ein Gewicht bis zu bestimmter Höhe zu heben hat, so haben wir nunmehr die dem Prinzip des Schrittzählers oder Hodometers angepassten automatischen Apparate zur Registrierung der Windstärke zu schildern. Schon 1734 hatte Ons-en-Bray die Windgeschwindigkeit durch die erwähnten Windmühlenflügel aufzeichnen zu lassen versucht; diese Flügel hoben einen Hammer und dieser schlug, wenn immer 400 Umdrehungen des Apparates geschehen waren, auf einen Markierstift, der sich in einem gleichförmig fortschreitenden Papierstreifen abdrückte. Zu den verbreitetsten Registratoren für Windstärke zählt gegenwärtig unstreitig das von Robinson erfundene Schalen- oder Halbkugelanemometer, von dessen Wesen uns Fig. 25 ein Bild gibt. Auf zwei senkrecht zu einander angebrachten gleichlangen Stäben, deren gemeinsamer Schwerpunkt von dem Postamente getragen wird, sind in der durch die Figur ersichtlich gemachten Weise je zwei Halbkugeln so angebracht, dass die Konkavität der einen stets der Konvexität der vor ihr befindlichen entspricht. Durch eine Verbindung ineinandergreifender Zahnräder wird die Geschwindigkeit gemessen und verzeichnet. Allerdings ist die wahre Geschwindigkeit des Windes nicht identisch mit der Umdrehungsgeschwindigkeit des Schalenkreuzes, wohl aber ist das Verhältnis beider Geschwindigkeiten ein ziemlich konstantes, um dessen Bestimmung auf experimentellem Wege sich namentlich Sprung bemüht hat. Derselbe konnte sich bei seinen Versuchen auf das vielfach verbesserte und in gigantischen Dimensionen ausgeführte Anemometer stützen, welches Recknagel für die Hamburger Seewarte geliefert hat. Die Reibung im Achsenlager des Schalenkreuzes kann durch Monros Einschaltung eines Systemes von Metallkugeln, die durch einen Führungsring in gewissen Entfernungen von einander gehalten werden, einen Minimalwert erhalten. Übrigens ist das Robinsonsche Prinzip auch beibehalten worden bei einem neuen Registrator für Windschnelligkeit, den Fuess nach Assmanns Bestimmungen für die Magdeburger Wetterwarte herstellte, während die Art der Registrierung in wesentlich anderer Art und mehr nach Massgabe des sonst bei Selbstaufzeichnern angewendeten Verfahrens

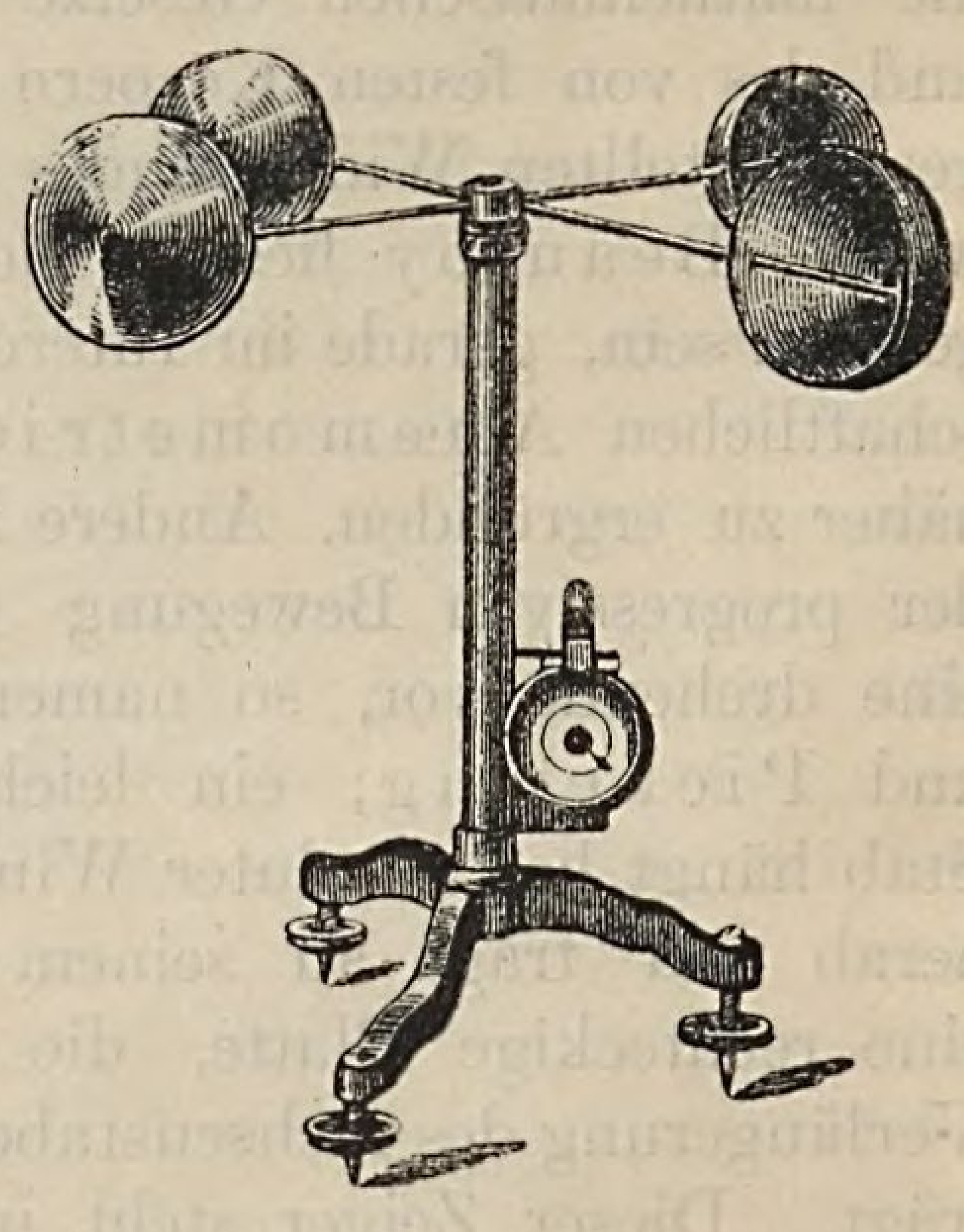


Fig. 25.

richtungen und im ganzen gewöhnlich 32 Richtungen aufweist. In diese letzteren zerfällt wenigstens die mit der gewöhnlichen Windrose nicht zu verwechselnde Strichrose der Seefahrer. Wie sich diese Einteilung des Horizontes nach und nach entwickelte, darüber belehren trefflich D'Avezac's „Aperçus historiques sur la rose des vents" (Rom 1874).

erfolgt. Der Assmannsche Anemograph (Fig. 26) besitzt ein Schalenkreuz, das so justiert ist, dass 100 seiner Umdrehungen einer Windgeschwindigkeit von 1 km aequivalent gesetzt werden können; die Achse des Kreuzes ist in der hohlen Windfahnenachse gelagert, und zwar sind Friktionsrollen f eingeschaltet, welche so gut wirken, dass die Windfahne in der Leichtigkeit ihrer Bewegung durch Einführung des Schalenkreuzes gar nicht merklich alteriert wird. Die Achse des Zahnrades z geht in einer an der Fahnenachse befestigten Gabel, tritt durch einen Schlitz in den Hohlraum der Achse ein und greift hier in ein Schraubengewinde ein, welches auf der Achse des Kreuzes eingeschnitten ist. 100 Umdrehungen sind erforderlich, um z einmal herumzudrehen. Sowie das geschehen, wird durch eine Hebelverbindung die Stange i gehoben, sofort aber wieder fallen gelassen. Hauptbestandteil der Registriermaschine ist ein Uhrwerk, welches einen Streifen unendlichen Papiers über das Tischchen t wegzieht, von welchem es sich einer Klemmfeder halber nicht entfernen kann. Dicht über diesem Streifen bewegt sich, wie die Zeichnung darthut, ein Streifen blauen Kopierpapiers. Nach je 100 Umdrehungen senkt sich, wie erwähnt, die Stange i, drückt dadurch den Stempel s auf das Kopierpapier und dieses wieder auf den darunter weggleitenden weissen Papierstreifen, auf welchem sohin eine blaue Abdruckmarke zurückbleibt. Und zwar besteht diese Marke aus zwei Teilen, aus einem dicken Punkte, der genau in der Achse des Stempels gelegen und von der Umdrehung der Windfahne durchaus unabhängig ist, und aus einem Striche, der die Stellung der Fahne gerade in dem Augenblicke ersehen lässt, in welchem die Registrierung statthatte. Windrichtung und Windgeschwindigkeit sind demgemäss durch einunddenselben Registrierungsakt zum Ausdrucke gebracht, und es wäre an dem ganzen Instrumente höchstens das auszusetzen, dass bei schwachen Winden die einzelnen Marken auf dem Papierbande eine recht unübersichtliche Entfernung von einander erhalten.

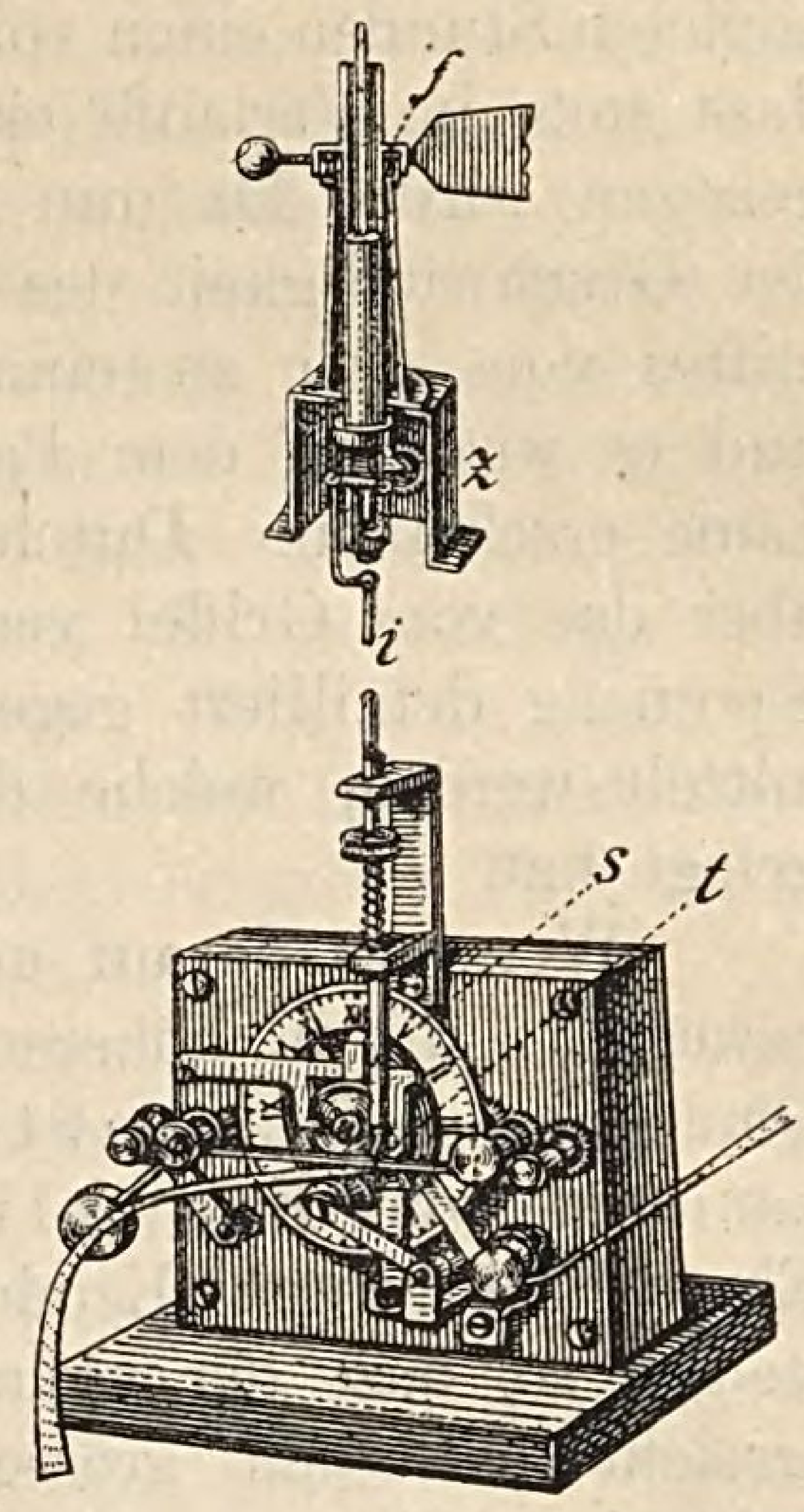


Fig. 26.

Den zur Zeit wohl feinsten und exaktesten Wind-Automaten, der aber ebendeshalb kostspieliger*) und nur für den eigentlichen Fachmann geeignet ist, haben Sprung und Fuess in gemeinsamer Arbeit zustande gebracht. Das Schalenkreuz ist wiederum mit der Windfahne verbunden, und die Bewegung des Windes wird auf den Registrierapparat im Verhältnis 1 : 10000 übertragen. Die mit der Achse verkuppelte Transmissionsstange dreht durch ein Winkelräderpaar eine Stahlscheibe, welche das Papier fortbewegt und durch 20 am Rande vorspringende Stifte Marken in den abrollenden Papierstreifen eindrückt.

*) Ein Barograph nach Assmann kostet 630, ein Barograph nach Sprung-Fuess 1100 Mark.

Die Intervalle zwischen je zwei nächst benachbarten Marken entsprechen einem Windweg von 5000 m. Auf der Ebene des abrollenden Papiers steht senkrecht ein mit zwölf Ansätzen versehenes Rad, welches in ebensovielen Stunden einen vollen Umgang macht und es zugleich bewerkstelligt, dass stets im Verlaufe einer Stunde ein Schreibstift quer über das Papier gezogen wird. Da nun hiebei unter ihm der Papierstreifen proportional der Geschwindigkeit des Windes abrollt, so wird die Spitze des Zeichenstiftes von zwei zu einander normalen Bewegungsantrieben beeinflusst, und es wird auf dem Papiere eine diagonale, jedoch schwach gebogene Linie erscheinen. Durch eine besonders geteilte Glastafel, welche man über das vom Griffel verzeichnete Diagramm legt, kann nach den von Sprung detailliert gegebenen Vorschriften die Anzahl von Metern ermittelt werden, welche der Wind in einer gegebenen Sekunde zurückgelegt hat.

Wenn es darauf ankommt, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der bewegten Luft in höheren Regionen zu studieren, so kann Archibalds Drachen-Anemometer Verwendung finden. Zwei nach Art der bekannten, von Franklin bereits in der Physik der Atmosphäre zu Ehren gebrachten Kinderdrachen an einander befestigte Seidengerüste steigen so, dass der kleinere vorangeht und, sobald er eine gewisse Höhe erreicht hat, den grösseren nach sich zieht. Statt an den üblichen Schnüren hält man die Drachen an Stahldraht von derselben Beschaffenheit, wie er nach W. Thomson zur Messung von Meerestiefen dient; dieser Draht ist unten an einer eisernen Winde befestigt, welche selbst im Boden steckt, und auf diese Weise vermeidet man jede elektrische Entladung, wie sie bei Anwendung der Schnur nicht ausbleiben würde. In gleichen Abständen werden an dem Draht die nach Art des Woltmannschen Flügels*) konstruierten Windmesser befestigt, deren momentane Erhebung über der Erde die Messung der Elevationswinkel mit Hilfe eines Theodoliten finden lässt. Selbstredend bedarf es sehr vieler Vorsichtsmassregeln, wenn ein so vielen Zufälligkeiten ausgesetztes Verfahren nützliche Resultate liefern soll, und der Erfinder versichert auch, erst nach Anstellung vieler erfolgloser Proben brauchbare Werte für die Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe erzielt zu haben.

Wir haben im obigen keinen besonderen Unterschied zwischen Windgeschwindigkeit und Windstärke gemacht, vielmehr angenommen, dass ein Instrument, welches den einen dieser beiden Faktoren richtig misst, auch zur Messung des anderen geeignet sei. In der That muss auch die lebendige Potenz, mit welcher der Wind auf eine sich ihm vorlegende Fläche wirkt, oder, was genau dasselbe ist, die mechanische Arbeit, welche der Wind — z. B. in dem Fortschieben jener Fläche im Sinne von Bouguer (s. o.) — zu leisten vermag, um so grösser sein, je stärker die Geschwindigkeit ist, doch nimmt erstere Grösse nicht im einfachen sondern im quadratischen Verhältnisse der Geschwindigkeit zu. Auch ist die Beaufortsche Stufenleiter, deren sich die praktische Witterungskunde zur Charakterisierung der Winde zu bedienen pflegt,

*) Dieses Instrument dient von Hause aus der Hydrometrie und soll durch die Stosskraft, mit welcher das Wasser auf mehrere an einer Achse befestigte Flügel wirkt, die Geschwindigkeit der Strömung angeben.

nicht nach den verschiedenen Graden der Geschwindigkeit, sondern nach Intensitätsabstufungen eingerichtet. Windstille wird durch 0, ein leiser, eben noch die Bestimmung der Windrichtung gestattender Zug durch 1, ein leichtes Wehen durch 2, ein schwacher Wind durch 3, ein mässiger Wind durch 4, eine frische, starke und steife Brise durch die Ziffern 5, 6, 7, stürmische Luftbewegung durch 8, ein wirklicher Sturm durch 9 bezeichnet, worauf ein starker und heftiger Sturm mit den Zahlen 10 und 11 folgen, und wenn endlich ein Sturm als Orkan einsetzt, so muss er mit 12 als der letzten der überhaupt verfügbaren Zahlen bezeichnet werden. Die Frage, in welchem Verhältnisse die Beaufortschen Stärkezahlen zur Geschwindigkeit des Windes stehen, ist neuerdings von Koeppen ernstlich in Angriff genommen worden. Wie man sieht, ist sowohl der praktische*) als auch ganz besonders der theoretische Teil der Anemometrie noch sehr vervollkommnungsfähig, so grosse Fortschritte uns auch gerade das letzte Jahrzehnt gebracht hat.

Nur im Vorübergehen wollen wir der Ozonometrie und der Ozonometer Erwähnung thun, denn die Hoffnung, welche man ehedem von seiten kundiger Fachmänner — voran der Hygieiniker — auf diesen Zweig der beobachtenden Meteorologie setzte, ist nur zum geringen Teile erfüllt worden. Man ist bisher noch immer bei dem bereits von Schönbein (s. o.) eingeführten Verfahren stehen geblieben, Papiere, welche mit Jodkleisterstärke bestrichen wurden, der Luft auszusetzen und die verschiedenen Grade der Bläuung dieser Papierstreifen an einer ziemlich willkürlich zusammengesetzten Skala zu messen. Da nun aber neuerdings durch Schöne nachgewiesen wurde, dass eigentlich ein strenger Beweis für die Existenz des Ozons in der Atmosphäre noch gar nicht existiere, dasselbe vielmehr häufig mit Wasserstoffhyperoxyd verwechselt worden zu sein scheine, da zudem dem nämlichen Forscher zufolge der Jodstärkekleister eine stark hygroskopische Substanz darstellt und ebensosehr von den Schwankungen der Luftfeuchtigkeit als auch von den allfallsigen Schwankungen des Ozongehaltes beeinflusst wird, so muss man in Übereinstimmung mit Cantoni und Dohrandt zu der Schlussfolgerung gelangen, dass die gegenwärtige Art, Ozonometrie zu treiben, ohne jedwede Schädigung der Wissenschaft aufgegeben werden kann. Dahingestellt muss bleiben, ob die Zukunft etwas besseres an die Stelle jenes Betriebes wird setzen können.

Da wir diejenigen speziellen Apparate, welche man in den Grenzgebieten zwischen der Meteorologie einerseits, der Optik und Elektrizitätslehre andererseits eine Rolle spielen sieht, erst dann zu schildern beabsichtigen, wenn ihre Berücksichtigung um der damit zu erreichenden Zwecke willen notwendig erscheint, so könnten wir jetzt unsere Aufgabe, den meteorologischen Beobachtungsapparat als solchen zu schildern, für gelöst erachten. Es erübrigt jedoch noch eine besonders zu besprechende

*) Möglicherweise gewährt Schreiber's Vorschlag grosse Vorteile, das Schalenkreuz mit einem Telephon in Verbindung zu bringen. Am Umfange des ersteren soll sich eine Kontaktfeder befinden, welche bei jeder Umdrehung über einen Stift schleift; derselbe wäre gleichwie die Feder durch einen Telephondraht mit der Membran zu verbinden. Die Häufigkeit der Geräusche ist das Mass der Windstärke.

Materie, deren Wichtigkeit uns erst durch eine Reihe von Untersuchungen aus sehr naher Vergangenheit vollkommen klar geworden ist. Wir meinen die Instrumente zur Messung der Intensität der Sonnenstrahlung. Die Wärme, welche unsere Erde vom Zentralkörper unseres kosmischen Systemes zugesandt erhält, ist so ziemlich die einzige, wenigstens die einzige nennenswerte Wärmequelle für die Erde, und so ist es denn für die Meteorologie sehr wünschenswert, Antwort auf die folgenden beiden Fragen zu bekommen: I. Wie gross ist die Wärmeenergie der Sonnenstrahlen in dem Augenblicke, in welchem sie bei der Grenzfläche unserer Atmosphäre (s. o.) eintreffen? II. Wie viel von dieser Wärme wird den Strahlen bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre von den absorbierenden Luftschichten entzogen? Die Klimatologie enthält die wichtigsten hiebei ermittelten Werte.

Um hierüber Klarheit zu erhalten, erfand J. Herschel das sogenannte Pyrheliometer, das noch gegenwärtig zum eisernen Bestande der atmosphärologischen Forschung gehört, freilich nicht in seiner ursprünglichen, sondern in einer ihm durch Pouillet erteilten vervollkommneten Form. Ein zylindrisches Gefäss v (Fig. 27) aus dünnem Silberblech, das ungefähr 100 Gramm Wasser aufzunehmen vermag, wird an seiner oberen, der Expositions-Fläche mit Lampenruss geschwärzt. In dem Gefässe befindet sich die Kugel eines feinen Thermometers, dessen Röhre einen in die untere Basisfläche eingesetzten Kork durchdringt und in den hohlen Metallzylinder c c' hineinragt; diese Röhre kann samt dem Wassergefäss in Drehung um die Längsachse des Zylinders versetzt werden, so dass die Bewegung im Wasser eine gleichmässige Verteilung der aufgenommenen Wärme sichert. Unten in c' ist eine Scheibe d senkrecht zur Umdrehungsachse also parallel zur Basis des Gefässes angebracht, deren Durchmesser demjenigen jener Grundfläche

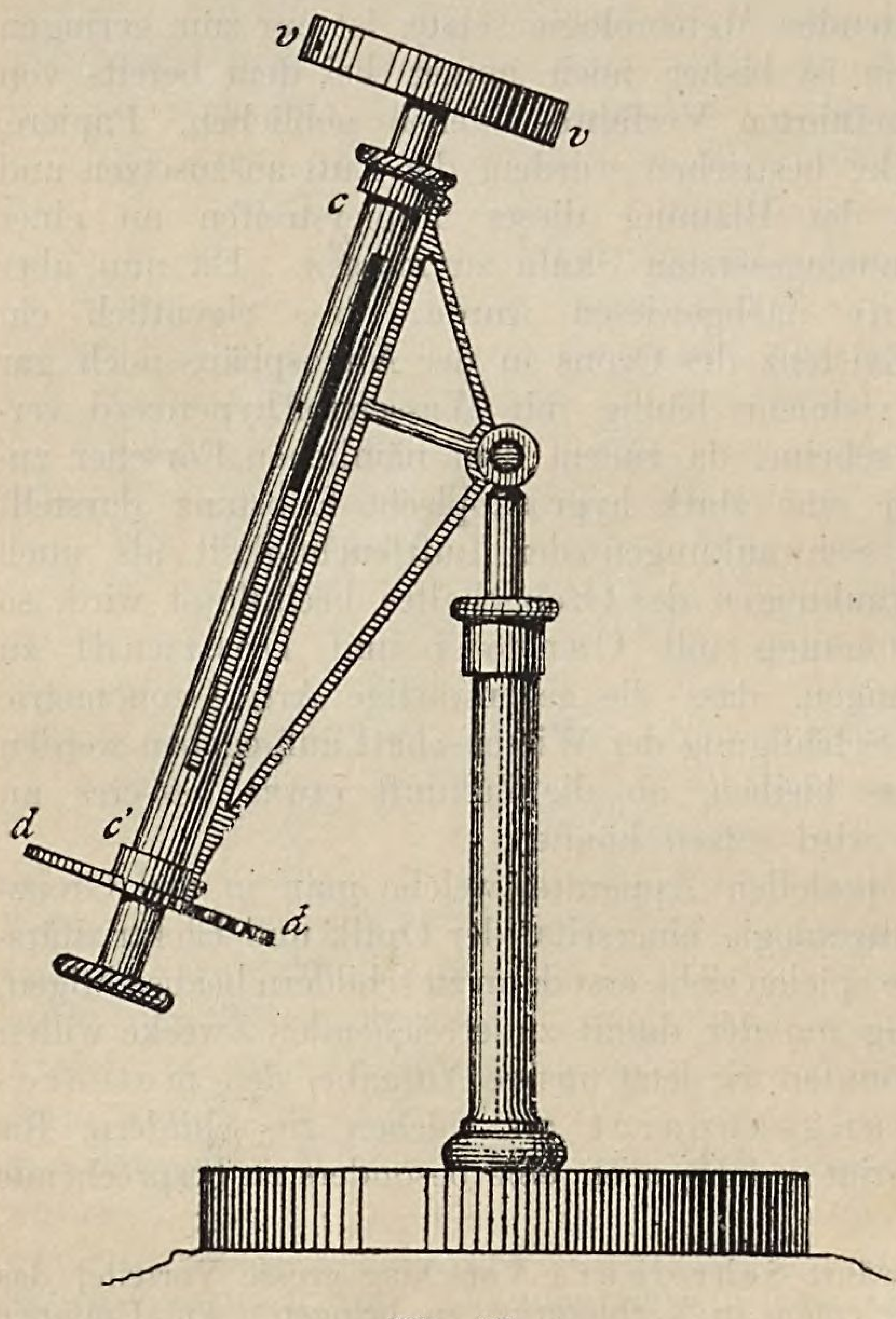


Fig. 27.

gleich ist. Die Scheibe hat nur die Bestimmung, als Garantie dafür zu dienen, dass die Sonnenstrahlen genau normal einfallen, wovon man sich dann versichert halten kann, wenn der Schatten der Aufnahmekapsel sich völlig mit der Scheibe d deckt. Bis zum Beginne des Versuches waren die Sonnenstrahlen durch eine Blendung von dem Apparate abgehalten; die Hülle sinkt, das Instrument wird in die angegebene Stellung verbracht, und sofort steigt die Temperatur des eingeschlossenen Wassers über diejenige der Umgebung. Das Thermometer gibt von diesem Wärmezuwachs Rechenschaft, freilich nicht in einem der Wirklichkeit ganz entsprechenden Masse, sintemalen durch Strahlung Wärme verloren gehen muss. Pouillet hat eine Korrektion angegeben, welche dem Strahlungsverluste Rechnung zu tragen erlaubt, und so ist denn die Absorption der Sonnenwärme in der Luft mit einer Genauigkeit berechnet worden, mit welcher man sich bis vor kurzer Zeit zufrieden geben zu dürfen vermeinte. Von der Art der Berechnung wird später noch die Rede sein müssen. Pouillet stellte übrigens diesem Instrumente, welches zur Messung der Grösse der Einstrahlung dient, noch ein zweites zur Seite, vermöge dessen die Gesetze der Ausstrahlung ermittelt werden sollen. Dies ist das Aktinometer (Fig. 28). Das Thermometer ist horizontal so in einem Metallzylinder angebracht, dass Schwanenfedern oder Eiderdaunen jede Wärmezuleitung von unten oder von der Seite her abhalten. Wird das Aktinometer in einer heiteren, die Ausstrahlung aus dem Erdboden begünstigenden Nacht ins freie gestellt, so muss die Temperatur im Inneren des Kastens sich erniedrigen, und das Quecksilber im Thermometer sinkt tiefer, als es sich ausserhalb des Kastens stellen würde. Diese Differenz aber bietet uns ein Mass für den Betrag der Ausstrahlung.

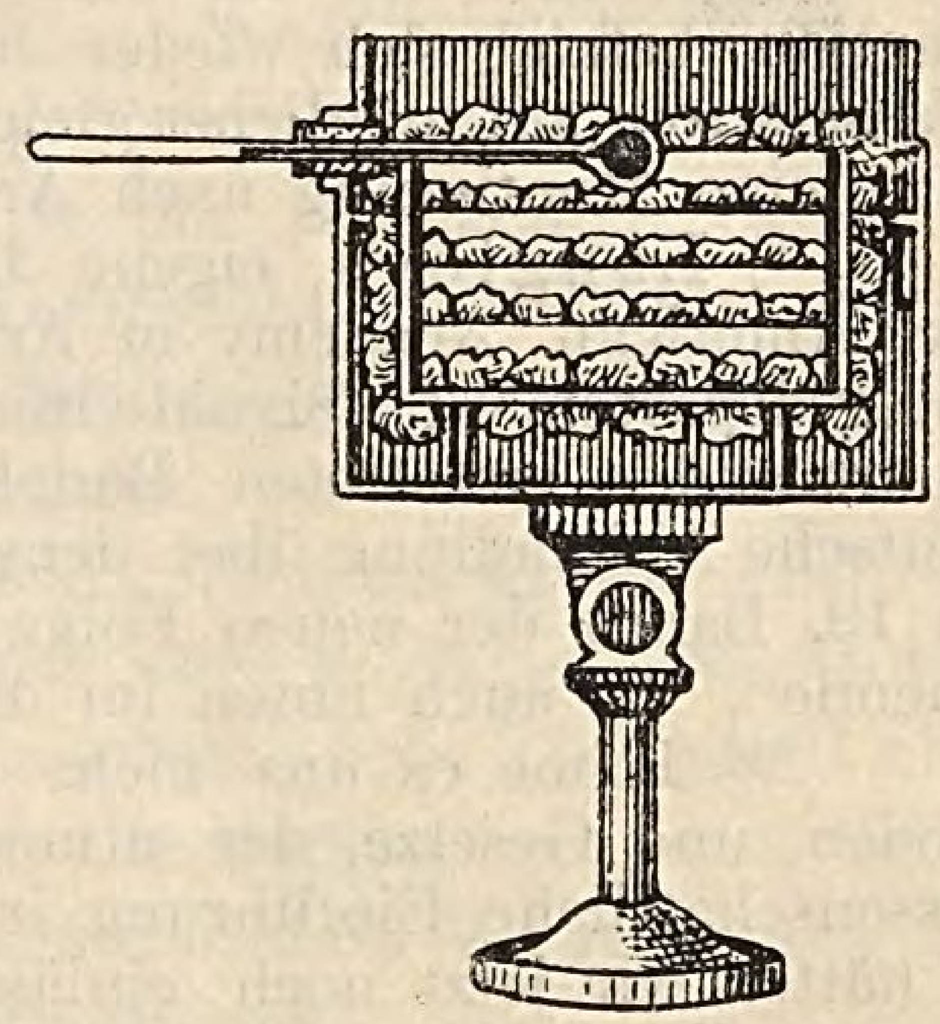


Fig. 28.

Die Versuche mit Pouillets Pyrheliometer waren für den Anfang von unleugbarem Werte, für eine scharfe Messung der solaren Wärme erwies es sich aber doch als unzulänglich. Es ist hiezu unstatthaft, blos ein kompaktes Strahlenbündel zu untersuchen, man muss danach trachten, sozusagen jeden einzelnen Strahl aus der Masse der übrigen herauszugreifen und auf seine spezifische kalorische Wirkung zu prüfen. Nachdem man sich längere Zeit hindurch für diesen Zweck hauptsächlich auf die Thermosäule verlassen hatte,*) erkannte man, dass

*) Messungen mit der Thermosäule haben namentlich Violle (auf dem Faulhorn), Crova und Frölich angestellt. Crova schloss ein thermoelektrisches Element in einen Zinnzylinder ein, dessen Achse gegen die Sonne parallatisch, d. h. so montiert war, dass sie, von einem Uhrwerke umgetrieben, stets durch den Mittelpunkt der sich (scheinbar) am Himmel fortbewegenden Sonne hindurchging. Die Bewegung der Galvanometer wurde photographisch registriert, so dass selbst die zarteste, sich vor die Sonne legende Wolke eine erkennbare Schwankung der Strahlungskurve zur Folge hatte. Speziell als

auch diese nicht völlig das gewünschte Ergebnis liefere, und es trat der Amerikaner Langley zuerst mit einer Abänderung des Messapparates hervor, welche bei den berühmten und noch später zu erwähnenden Beobachtungen auf dem Mount Whitney in der nordamerikanischen Sierra Nevada treffliche Dienste zu leisten vermochte.*) Langley nahm ganz dünne Eisendrähte, welche sukzessive durch die ganze Ausdehnung des Sonnenspektrums hindurchgeführt wurden; die verschiedene Wärmewirkung offenbarte sich durch Änderungen des elektrischen Leitungswiderstandes. Man bezeichnet dieses ziemlich komplizierte Instrument als Bolometer oder richtiger mit dem Erfinder selbst als Spektrobolometer; wir kommen später auf die damit gemachten Messungen zurück. **)

Die Kenntnis der meteorologischen Beobachtungswerkzeuge erfordert zu ihrer Vervollständigung und Nutzbarmachung unbedingt auch einige Kenntnis der Art und Weise, in welcher Beobachtungen ange-

Sonnenschein-Registratoren sollen wirken gewisse Apparate von Jordan und Maurer. Aehnlich war Frölich's Thermoskop eine aus Stäbchen von Wismut und Zinkantimon bestehende Säule; sie stak in einem Metallrohre, das durch eine aus dem diathermansten Stoffe, aus Steinsalz, gefertigte Platte geschlossen war. An das Rohr schloss sich ein Trichter, und diese ganze Kombination befand sich wieder in einem Blechcylinder, den ein durchlaufender Wasserstrom auf möglichst gleicher Temperatur erhalten sollte. Die Säule selbst hatte eine Montierung nach Art des Theodoliten.

*) Langley's eigene Beschreibung findet sich in den „Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences“ und weiterhin in dem vom Kriegsdepartement (Signal-Officer) zu Washington in Form eines stattlichen Quartbandes erstatteten Berichte über die Mount Whitney-Expedition. Eine deutsche Abhandlung über denselben Gegenstand publizierte der genannte Autor im 19. Bande der neuen Folge von Wiedemann's „Annalen der Physik und Chemie“. S. auch unten im dritten Hauptstücke.

**) Käme es uns nicht sowohl auf eine populäre Darstellung der Methoden und Gesetze der atmosphärischen Physik, sondern vielmehr auf eine wissenschaftliche Einführung in die Instrumentaltechnik der Meteorologie an, so hätten wir jetzt noch einlässlich bei den sogenannten Meteorographen zu verweilen. Hierunter versteht man Registriervorrichtungen, welche nicht nur eines der zahlreichen Elemente, Temperatur, Luftdruck, Windstärke u. s. w. zu verzeichnen haben, sondern gleichzeitig deren Gesamtheit zu markieren bestimmt sind. Solcher Universalinstrumente gibt es zur Zeit bereits eine ganze Anzahl, doch sind schematische oder gar perspektivische Zeichnungen nur bei Anwendung eines sehr grossen Masstabes übersichtlich und verständlich. Am bekanntesten unter diesen Registratoren sind diejenigen von Secchi, der auch wohl von allen der älteste, seit längster Zeit im Gebrauche stehende sein dürfte, des Schweden Theorell und des Belgiers van Rysselberghe. Theorells Maschine druckt sofort die Notate der einzelnen Glieder des Universalapparates in Ziffern ab und enthebt dadurch den Beobachter aller Reduktionen. Was Theorell zahlenmässig leistet, sucht sein belgischer Kollege graphisch zu erreichen, indem er von den Schreibstiften der Einzelapparate die Kurven des täglichen Ganges auf Metallplatten zeichnen und von diesen dann nach Bedürfnis Abdrücke machen lässt. — Unter dem Vortritt Englands ist man in neuester Zeit zu Versuchen mit der photographischen Selbstaufzeichnung übergegangen, die denn auch seitdem besonders auf dem geophysikalischen Observatorium von Kew mit grossem Erfolge gepflegt wird. Wir haben ihrer bereits oben bei dem Neumayer'schen Seethermometer gedacht; sie bietet den Vorteil, dass man z. B. die variablen Längen der Thermometersäule nicht erst durch ein Uebertragungsverfahren, sondern direkt als Ordinaten der auf dem präparierten Papier entstehenden Schattenkurve erhält.

stellt und rechnerisch oder graphisch weiter verarbeitet werden. In erster Linie ist es wichtig, sämtlichen Messungen den Charakter der Vergleichbarkeit zu wahren, und dies kann nur dadurch geschehen, dass die Aufzeichnungen der Beobachter, deren persönliche Dienstleistung ja doch nur in Ausnahmefällen durch Registrierapparate entbehrlich gemacht wird, genau zur nämlichen Zeit erfolgen. Das hatte bereits die in unserer geschichtlichen Einleitung erwähnte pfälzische Sozietät des Abtes Hemmer richtig herausgefühlt, und es war von ihr z. B. die Anordnung getroffen worden, dass als wahres Temperaturmittel eines Tages die Zahl $^1/_4$ (7 ha + 2 hp + 2.9 hp) gelten sollte, d. h. es waren die um 7 Uhr Vormittags und um 2 Uhr Nachmittags gemachten Ablesungen zu addieren, hiezu musste das doppelte der Grade addiert werden, welche das Thermometer um 9 Nachmittags zeigte, und von dieser Gesamtsumme war der vierte Teil zu nehmen. Anders ging man später in Bayern zuwege, wo, unter m die Notierung des Minimumthermometers (s. o.) verstanden, das Mittel = $^1/_4$ (m + 8 ha + 2 hp + 8 hp) gesetzt ward. Die Fachmänner überzeugten sich immer mehr, dass der Willkür ein Ende gemacht werden müsse, und so übernahmen es v. Bezold und Erk, die Frage einer gründlichen theoretischen Erörterung zu unterwerfen. Es fand sich, dass als die das Temperaturmittel W eines Tages mit relativ grösster Zuverlässigkeit darstellenden Werte die nachstehenden anzusehen sind: W = $^1/_4$ (7 ha + 2 hp + 2.9 hp); W = $^1/_4$ (8 ha + 2 hp + 2.10 hp). Und da der Beobachter, wenn er einmal das Thermometer abliest, bei dieser Gelegenheit doch auch gleich die übrigen Instrumente seiner Station mit berücksichtigt, so gelten die obigen Tagesstunden überhaupt als die günstigsten Termine. Für gewisse Zwecke begnügt man sich freilich selbst hiemit noch nicht; so war den im Jahre 1882 nach möglichst hohen Breiten des Nordens und Südens entsendeten deutschen Expeditionen, deren ausschliessliche Thätigkeit eben der tellurischen Physik zugewandt sein sollte, die Auflage gemacht, selbst die automatischen Aufzeichner noch durch allstündliche Vergleichung mit dem bezüglichen Normalinstrumente zu kontrollieren.

Trotz aller Bemühungen wird man nur selten, zumal aus früherer Zeit, jene durchaus zusammenhängenden Beobachtungsreihen zur Verfügung haben, welche zumal für klimatologische Untersuchungen die unentbehrliche Grundlage bilden. Meistens sind Lücken vorhanden, die Abstände der einzelnen Beobachtungsphasen von einander sind nicht gleich gross, und dann muss die Ausfüllung auf dem Wege der Interpolation erfolgen. Um den Grundgedanken des Verfahrens zu erläutern, denken wir uns eine Kurve gezeichnet, von deren Verlaufe wir ein sehr grosses Stück übersehen können, während an einer Stelle ein Stück fehlt. Wäre die Kurve eine reguläre, nach einem bekannten geometrischen Gesetze gebildete, so würde die Ergänzung des Fehlenden nicht die mindeste Schwierigkeit darbieten, allein davon ist keine Rede, der Kurvenzug ist vielmehr ein irregulärer, dessen allfalsige Gesetzlichkeit wenigstens erst nachgerade erkannt werden könnte, und es handelt sich demnach darum, unter den unendlich vielen krummlinigen Verbindungsstücken, welche an und für sich in die Lücke hineinpassen würden, gerade dasjenige herauszufinden, welches dem sonstigen Verlaufe des

Zuges nach sich diesem am besten zu akkomodieren scheint. Wir haben es also ersichtlich mit einer Aufgabe der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu thun. Aus älteren Versuchen von Walbeck, Kämtz u. a. ist eine sehr strenge Methode dieser Art hervorgegangen, für welche man kurzweg den Namen der Besselschen Formel gebraucht. Dieselbe ist und bleibt das Zufluchtsmittel des klimatologischen Forschers, wenn er ermitteln soll, wie sich für einen bestimmten Zeitpunkt der Wert irgend eines meteorologischen Elementes gestaltete, von welchem er nur eine lose und vielleicht nicht einmal gleichabständige Kette von Mittelwerten für ein bestimmtes Intervall besitzt. Plantamour und Weihrauch haben Bessels Berechnungsmethode noch erheblich verbessert. Trotzdem darf nicht in Abrede gestellt werden, dass sich gegen die zu Doves Zeit ziemlich verbreitete Ansicht, es sei die Besselsche Formel eine förmliche Panacee und könne sogar zur Aufdeckung noch unbekannter meteorologischer Gesetze dienen, eine sehr berechtigte Opposition erhoben hat. Gefühlt hatte man die Unzulänglichkeit des schematischen Interpolierens schon länger, völlige Klarheit ward aber über die ganze Angelegenheit erst dann verbreitet, als Wild 1881 seine klassische Schrift „Die Temperaturverhältnisse des russischen Reiches“ erscheinen liess. Der Hauptvorwurf, der daselbst gegen die gewöhnliche Art der Einschaltung erhoben wird, lässt sich etwa so formulieren: Allerdings schafft die auf Grund der Formel von Bessel konstruierte Kurve, welche den Tages- oder Jahresgang der Temperatur, des Luftdruckes, der Bewölkung u. s. w. anschaulich macht, alle etwa vom Beobachter begangenen Fehler weg, allein gerade auch die typischen Einzelzüge, welche für den klimatischen Charakter eines Ortes zwar irrelevant sind, bei der Lösung konkreter meteorologischer Fragen aber von grösster Tragweite sein können, werden gleichfalls weggewischt, kurz, die rechnerische Interpolation übt einen nivellierenden, verflachenden, allen Individualitäten feindlichen Einfluss aus, und aus diesem Grunde wird man die Besselsche Formel zwar nicht verwerfen, man wird sie vielmehr mit der Weihrauchschen Modifikation nach wie vor in der Klimakunde häufig anzuwenden genötigt sein, allein man wird nicht mehr mit dem absoluten Vertrauen auf sie blicken, welches ihr noch 1860 Kämtz entgegengebracht hatte.

Die graphische Methode gelangt angesichts dieser gegen die kalkulatorische zu erhebenden Bedenken wieder mehr zu ihrem Rechte. Man nimmt, wenn es sich um die Darstellung einer lediglich von der Zeit abhängigen Veränderlichen handelt, ein rechtwinkliges Koordinatensystem,*) dessen Nullpunkt mit dem Anfange des für den

*) Es ist die Frage aufgeworfen und verschieden beantwortet worden, ob auch mit dem polaren Koordinatensystem in der Meteorologie etwas zu leisten wäre. Am Schlusse dieses Hauptstückes wird man sehen, dass davon sehr wohl die Rede sein kann; aber auch dann, wenn allgemein der Zahlenwert eines meteorologischen Elementes durch den Fahrstrahl und die Zeit durch den von jenem mit der festen Anfangsrichtung eingeschlossenen Winkel ausgedrückt wird, kann unter Umständen eine grössere Übersichtlichkeit erzielt werden, als sie dem orthogonalen Tableau eignet. Namentlich gibt die Übereinanderlegung der Kurvenstücke eine weit leichtere Vergleichung an die Hand, als sie sonst möglich ist, wenn die zu vergleichenden Kurventeile sehr weit aus einander liegen.

vorliegenden Fall in Frage kommenden Zeitabschnittes sich deckt, und trägt von diesem Nullpunkte aus die Zeiten gleichförmig auf. Immer da, wo ein bestimmtes Intervall endet, errichtet man auf der Abszissenachse ein Lot, dessen Länge, nach einem an sich willkürlichen aber nachher stets konstanten Massstabe aufgetragen, der Masszahl des betreffenden meteorologischen Elementes entspricht. Wild setzte die Zeitdauer einer Stunde einer Strecke von 12 mm und den Anstieg des Thermometers um 1^0 einen Zuwachs der Ordinate um 20 mm aequivalent und bestimmte so die Zeiten der periodischen Extreme der Temperatur mit einem Fehler, der nicht über $\pm$ 2 Minuten hinausgeht. Will man aus dem graphischen Tableau den Mittelwert entnehmen, welchen der bezügliche meteorologische Faktor bei seinem Gange innerhalb der in Rede stehenden Zeit erhalten hat, so kann man nach Anleitung von Fig. 29 zuwerke gehen. AB ist die meteorologische Kurve, A_1 und B_1 sind die dem Anfangs- und Endpunkte des Intervalles zugehörigen Ordinaten. Gesetzt nun, CC_1 sei die gewünschte mittlere Ordinate; dann muss, wenn eine durch C parallel zur Abszissenachse gelegte Grade AA_1 und BB_1 resp. in D und E trifft, das Rechteck $A_1 B_1$ ED dem gemischtlinigen Trapez $A_1 B_1$ BA flächengleich sein. Die Rechtecksseite $A_1 B_1$ ist bekannt; der Flächeninhalt des Trapezes kann, wenn die Kurve AB eine regelmässige ist, durch Integration, im anderen Falle durch mechanische Planimetrie*) ermittelt werden, und wenn dies geschah, führt schliesslich eine blosse Division zur Kenntnis des Mittelwertes CC_1, der, falls AB sich als annähernd gradlinig herausstellt, gleich $^1/_2$ (AA_1 + BB_1) gesetzt werden darf.

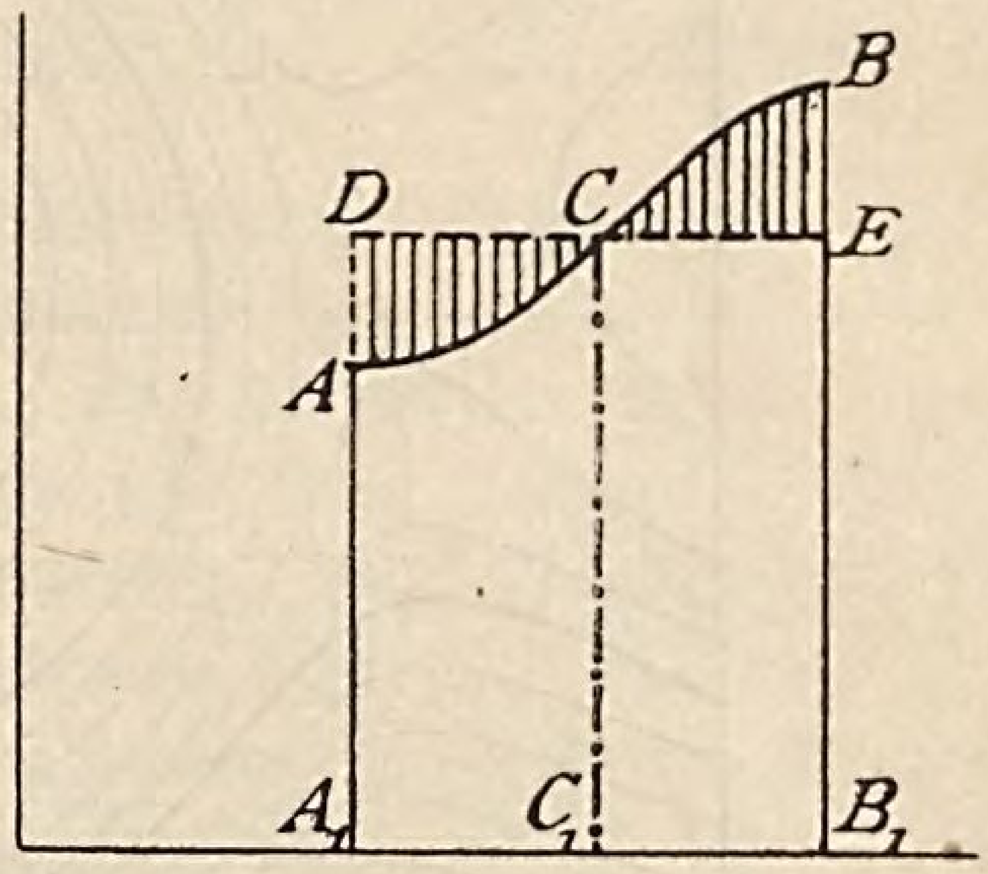


Fig. 29.

Freilich ist dieses einfache Verfahren nicht mehr anwendbar, sobald der meteorologische Faktor, mit welchem wir es zu thun haben, gleichzeitig von zwei veränderlichen Grössen abhängig erscheint. Man kennt jedoch seit Cartesius, De Witt und Parent die Repräsentation solcher Funktionen, deren geometrisches Bild jetzt also nicht mehr die lineare Kurve sondern die nach zwei Dimensionen ausgedehnte Fläche ist, durch drei Raumkoordinaten und kann in der Klimatologie offenbar sich ganz ebenso verhalten wie in der analytischen Geometrie des Raumes. Um jedoch eine durch deren gewöhnliches Verfahren kaum erreichbare Übersichtlichkeit herbeizuführen, kann man auch mit grossem Vorteile den Gedanken nutzbar machen, von welchem die Situationszeichnung bei der Darstellung unebenen Terrains durch Isohypsen**)

*) Planimeter nennt man jede Vorrichtung, welche durch blosses Ablesen, ohne eigentliche Rechnung (nämlich durch Umfahren der Peripherie mittelst eines Fahrstiftes), den Inhalt der betreffenden Figur zu ermitteln gestattet. Am zweckdienlichsten erscheint das Polarplanimeter von Amsler.

*) Ein Bergland wird durch Isohypsen, der Boden eines Wasserbeckens durch Isobathen dargestellt, indem man alle Punkte durch Kurvenzüge mit

ausgeht. V o g l e r hat diese Übertragung auf meteorologische Dinge als der erste ins Werk gesetzt und dabei den Vorschlag gemacht, solche Höhenschichtenkurven, welche gleichen Funktionswerten entsprechen, als I s o p l e t h e n zu bezeichnen; welchen Wert diese Art der Graphik

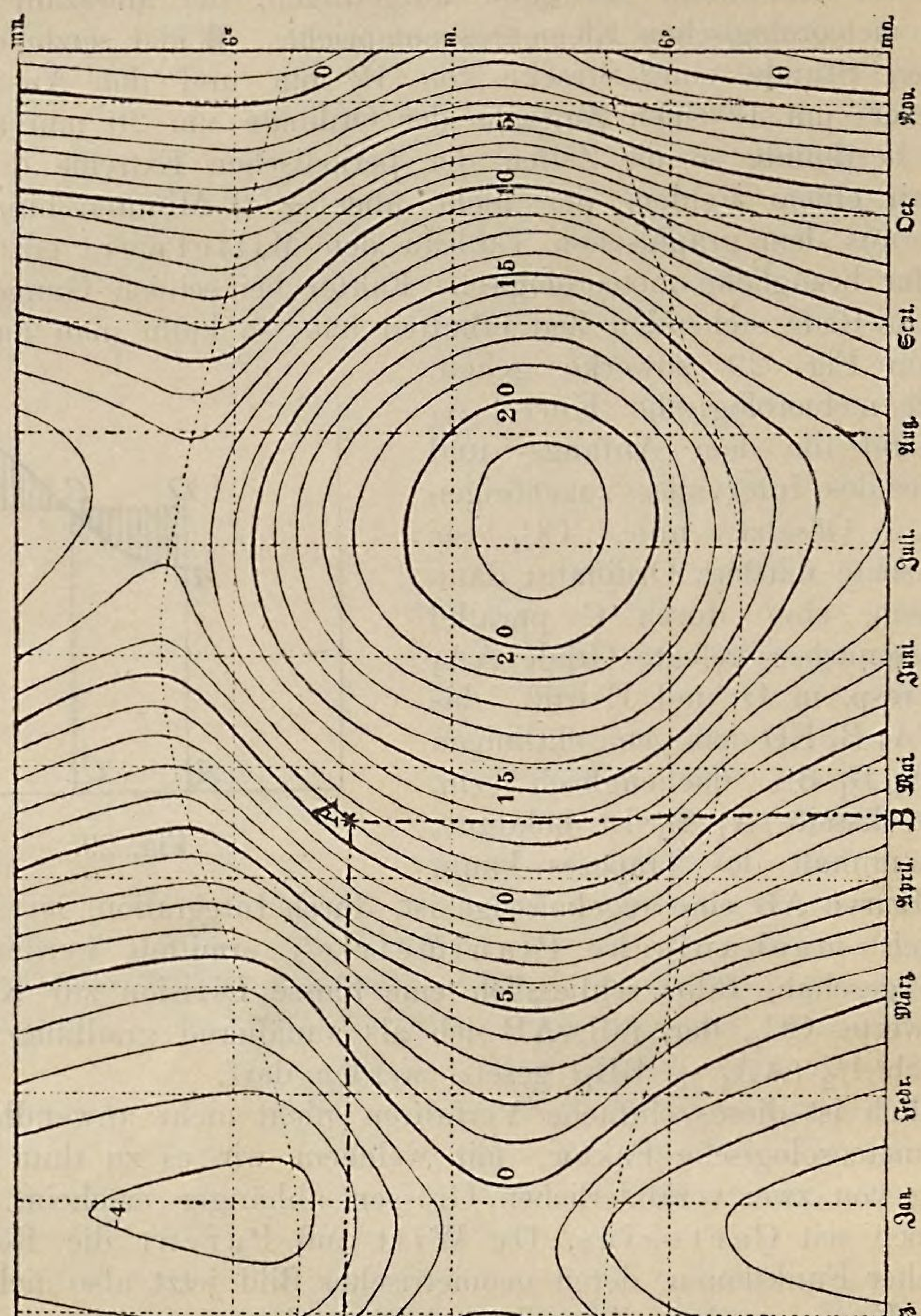


Fig. 30.

namentlich in der klimatologischen Forschung zu offenbaren imstande ist, das ist zumal von E r k gründlich dargethan worden. Wie man in einem konkreten Falle vorgehen muss, das mag E r k s Diagramm (Fig. 30) erläutern, welches die T h e r m o i s o p l e t h e n von München

einander verbindet, deren (positive oder negative) Entfernungen von einer Niveaufläche (angenähert also etwa vom Meeresspiegel) gleich gross sind. Eine senkrecht zu jeder einzelnen Isohypse gezogene Normalkurve gibt die Linie kürzesten Falles, des Wasserlaufes, an; das Stück einer solchen Normalkurve zwischen zwei benachbarten Höhenkurven ist umgekehrt proportional dem G e f ä l l e. Bald werden wir hinsichtlich der Luftdruckverteilung ein ganz ähnliches Bild zweier

veranschaulicht. Auf der horizontalen Abszissenachse sehen wir die den Monatsanfängen zugehörigen Punkte in gleichen Abständen verteilt; auf der Ordinatenachse sind ebenso die vier Termine markiert, welche den Tag in seine vier Viertel zerfällen. Die gestrichelten Kurven geben die Zeit des Auf- und Unterganges der Sonne an. Endlich sehen wir die den einzelnen Temperaturgraden zwischen + 21° und — 4° entsprechenden Isoplethen eingetragen; von 5° zu 5° sind dieselben verstärkt ausgezogen. Wollen wir jetzt z. B. wissen, welches die Temperatur am 15. April mittags um 3 Uhr war, so halbieren wir die Strecke April-Mai im Punkte B, thun ein gleiches mit der Distanz m 6 a, deren Mittelpunkt C ist, und ziehen resp. durch B und C Parallelen zu den Begrenzungslinien unseres rechtwinkligen Schemas. Diese Parallelen durchschneiden sich in A; der Punkt A liegt auf jener Isoplethe, welche durch die Zahl 11 zu charakterisieren wäre, und es stand somit am fraglichen Tage um 3 h das Thermometer auf 11°. Und ähnlich in anderen Fällen.

Ein sehr wertvolles zeichnerisches Hilfsmittel stellt sich dem Forscher wie dem Praktiker dar in den sogenannten meteorologischen Windrosen. Was das Wort Windrose an und für sich bedeutet, war schon weiter oben Gegenstand der Besprechung, hier erscheint dieser Name natürlich in etwas übertragener Bedeutung. Im allgemeinen ist die Stärke, mit welcher sich für einen gegebenen Ort und für eine gegebene Zeit ein bestimmtes meteorologisches Element geltend macht, von der herrschenden Windrichtung abhängig; nimmt man jenen Ort somit als Mittelpunkt von Radspeichen gleichen Winkelabstandes und trägt auf jeder dieser Graden eine Strecke ab, welche, nach irgend einem Masstabe gemessen, der Grösse nach dem bezüglichen Elemente, der Lage nach aber der Windrichtung entspricht, so gibt uns die durch die Endpunkte aller dieser Strecken sich hindurchziehende Kurve auf den ersten Blick ein Bild von dem Einflusse der Windrichtung auf die Intensität des Luftdruckes, der Feuchtigkeit u. s. w. Unter diesem Gesichtspunkte gibt es also barische, thermische, atmische, ombrische, nephische (den Stand der Wolken anzeigende) und sogar ozonometrische Windrosen. Um die Abhängigkeit noch deutlicher hervortreten zu lassen, kann man denjenigen Teil einer dem Beobachtungsorte konzentrischen Kreisfläche, welcher ausserhalb der Kurve gelegen ist, durch Schwärzung hervorheben, wie es bei Fig. 31, der Jahreswindrose von Berlin, ersichtlich wird. Erfinder der Windrosen ist Leopold v. Buch, dieser berühmte Förderer der physikalischen Erdkunde, dessen

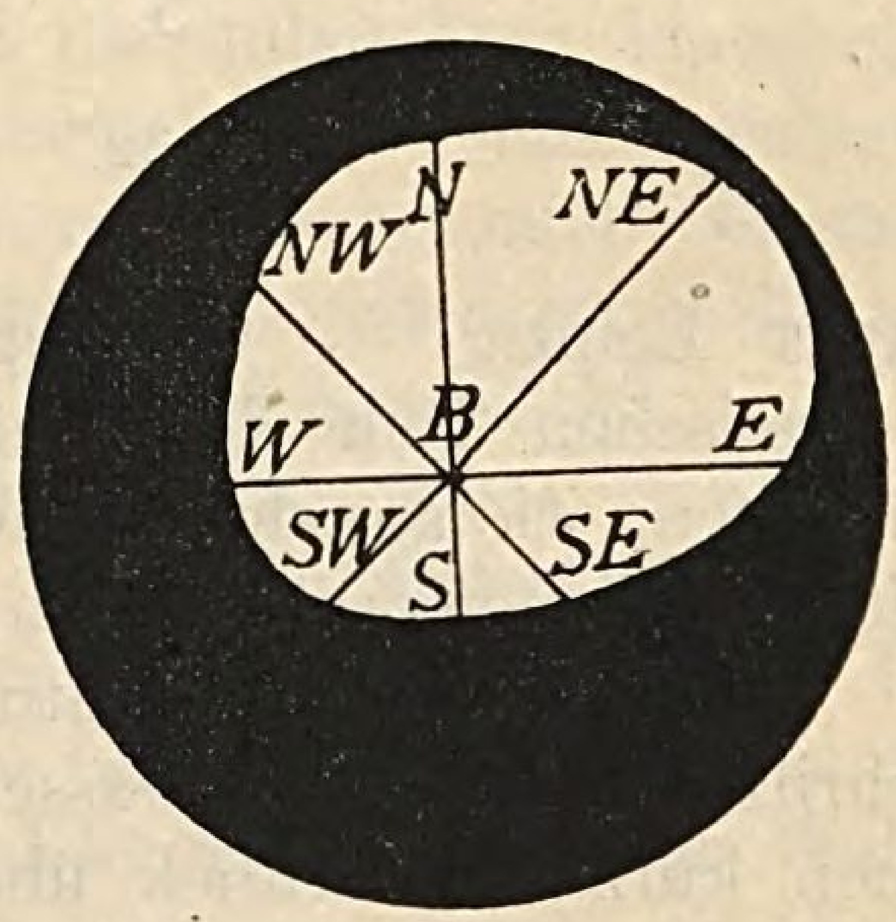


Fig. 31.

Kurvenscharen erhalten; ein weiteres Analogon bietet sich auf der Erdoberfläche dar in dem System der Linien gleichen magnetischen Erdpotentiales, auf denen jeweils die der Achsenrichtung der Deklinationsnadel entsprechenden Linien senkrecht stehen.

Abhandlung über den Gegenstand*) wohl zu den klassischen Schriften der Klimatologie gerechnet werden darf; die Erweiterungen fanden sich nach und nach hinzu, und es waren besonders Dove und Lamont in diesem Sinne thätig. Wichtig ist die Anfertigung vertrauenswürdiger Rosen zumal für solche klimatische Kurorte, die ihren Zweck in möglichster Hintanhaltung der für schwache Organisationen schädlichen Nord- und Ostwinde suchen. Wir geben in Fig. 32 die anemographische Windrose des neuerdings berühmt gewordenen Badeortes Lysekil nördlich von Götheborg in Schweden; hier bedeuten die vom Zentrum L auslaufenden begrenzten Graden nicht numerische Intensitäten, es sind vielmehr Relativzahlen der Häufigkeit. Man sieht sofort, dass Winde aus dem nördlichen und östlichen „Quartier“ ganz ungleich seltener dort wehen als Winde aus dem südlichen und westlichen, wie es sich ja eben auch verhalten soll. Unter Umständen kann es sich nach dem Vorgang von Schreiber**) empfehlen, für hohe, mittlere und tiefe Barometerstände separate Windrosen auszuarbeiten; es gelang sogar auf diese Weise, allgemeine Resultate hinsichtlich des Waltens oder Nicht-Waltens gewisser Gesetzmässigkeiten zu erhalten, welche natürlich nur für die mehr oder minder nahe Umgegend des Beobachtungsplatzes — in Schreibers Falle handelte es sich um das Königreich Sachsen und um den Zentralpunkt Leipzig — Geltung beanspruchen dürfen. Auch sonst ist im theoretischen Teile der genannten Studie mancher beachtenswerte Wink enthalten, wie aus den Windrosen ein neues und exakt arbeitendes Hilfsmittel der meteorologischen Forschung zu machen wäre.

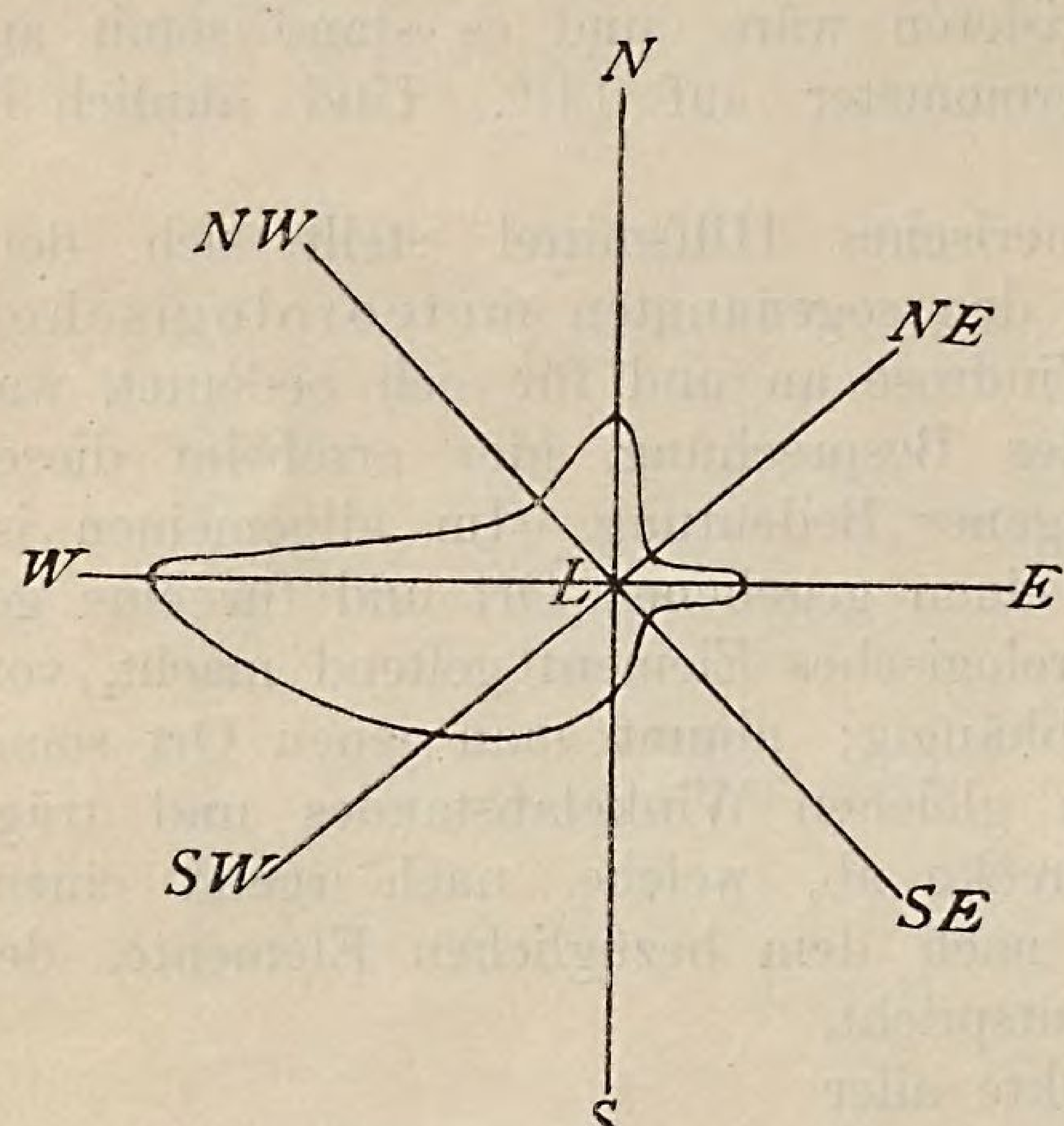


Fig. 32.

Mit dieser Betrachtung dürfen wir das erste Hauptstück dieser Schrift beschliessen. Dasselbe war ausgesprochenermassen dazu bestimmt, einen kurzen Überblick über die Entwicklungsgeschichte unserer Wissenschaft zu geben, die allgemeinen Gesetze zu formulieren, von denen die Physik der Atmosphäre bei jeder spezielleren Untersuchung auszugehen hat, und endlich den Leser sozusagen mit dem „Handwerkszeug“ der ausübenden Meteorologie bekannt zu machen. Wir werden im folgenden Thatsachen aller Art anzuführen und untereinander zu ver-

*) v. Buch, Ueber barometrische Windrosen, Abhandl. d. k. preuss. Akademie d. Wissenschaften, Physik. Klasse, 1820.

**) Schreiber, Die Bedeutung der Windrosen für theoretische und praktische Meteorologie und Klimatologie, Gotha 1881. (Ergänzungsheft Nr. 66 zu Petermanns „Geograph. Mitteilungen“.)

knüpfen haben, von denen wir solange nichts wussten, als nicht die Konstruktion und Theorie der gerade für solche Zwecke ausersehenen Instrumente und die Mittel, die Ablesungsergebnisse entsprechend zu verwerten, bis zu einem gewissen Grade ausgebildet waren. Nunmehr aber hoffen wir die Basis gewonnen zu haben, auf welcher sich ein wirkliches Lehrgebäude unserer Disziplin errichten lässt.

Zweites Hauptstück.

Die Lehre von den Bewegungen in der Atmosphäre.

Es gibt einen eigenen Zweig der Mechanik, die Aerodynamik, welche sich ausschliesslich mit den Bewegungsverhältnissen elastisch-flüssiger, d. h. luftartiger Massen beschäftigt, und es kann so die theoretische Meteorologie wiederum als eine Unterabteilung der Aerodynamik angesehen werden. Wäre diese letztere weit genug fortgeschritten, um den Bewegungszustand eines irgendwie gestalteten Luftkörpers, wie sich ersterer unter dem Einflusse irgendwelcher Ursachen gestalten muss, durch eine mathematische Formel oder durch einen Komplex solcher Formeln darzustellen, so wäre unsere Aufgabe eine vergleichsweise leichte, denn es gälte dann nur, die den jeweiligen Beobachtungen entnommenen Zahlwerte einzusetzen, um sofort durch Berechnung der Ausdrücke Antwort auf jede konkrete Frage zu erhalten. In der That hat man sich zumal während des vorigen Jahrhunderts mit der Hoffnung getragen, dass die soeben angedeutete Idee resp. deren Durchführung ins Bereich der Möglichkeiten gehöre, D'Alembert glaubte sogar der Lösung des Problemes ganz nahe gekommen zu sein, und die unleugbare Thatsache, dass Newtons Gravitationslehre die Vorausberechnung eines beliebigen gegenseitigen Standes von sich unter einander nach bestimmten Gesetzen anziehenden Körpern ermöglicht hatte, schien den Optimisten auch einigermassen Recht zu geben. Je weiter jedoch die Wissenschaft in der Erkenntnis fortschritt, umso bescheidener wurde sie auch und mehr und mehr gelangte sie zu der Überzeugung, dass die Gewinnung eines so universellen Standpunktes, wie wir ihn soeben schilderten, noch für unabsehbare Zeit die Kräfte des menschlichen Geistes übersteigen werde. Nicht auf deduktivem Wege, durch Spezialisierung allgemeiner Wahrheiten, sondern einzig und allein auf induktivem, durch ein langsames und allmähliges Aufsteigen vom besonderen zum allgemeinen, vom leichteren zum schwereren lässt sich ein Einblick in den wirklichen Hergang der Dinge erreichen. Wir müssen den Anfang machen mit schematischen Betrachtungen, welche aus der Vielzahl der Faktoren, die beim Zustandekommen einer Naturerscheinung mitwirken, einzelne, leichter übersehbare herausheben. Das uns bereits bekannte treffliche Werk von Sprung, welches wir im folgenden vielfach zur Richtschnur nehmen werden, kann uns von dieser Methodik der induktiven Forschungsweise den besten Begriff geben.

Wir denken uns irgendwo in unserer Atmosphäre ein — durch unsichtbare Wände abgeschlossenes — Luftquantum von einfachster stereometrischer, also parallelepipedischer Gestalt in vollkommenem Gleichgewichte, wie es in der Natur selbst freilich kaum jemals vorkommen wird. Wenn wir von elektrischen Kraftäusserungen zunächst absehen, kommen als diejenigen Kräfte, welche nach unserer Voraussetzung ihre gegenseitigen Wirkungen paralysieren, nur die Schwerkraft und die Druckkräfte der umgebenden Luftmassen in betracht. Die Schwerkraft muss derjenigen Kraftgrösse gleich sein, welche man erhält, wenn man die vertikal nach unten wirkenden Kräfte von den vertikal nach oben wirkenden abzieht, denn wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, wird unser Luftkörper sich in der Richtung der Schwere entweder von der Erde weg oder auf die Erde zu bewegen. Ebenso wird eine horizontale, der Erdoberfläche annähernd parallele Fortbewegung eingeleitet werden, wenn der auf die eine der vertikal stehenden Seitenflächen ausgeübte Druck den auf die gegenüberliegende Seitenfläche gerichteten übersteigt. Eine solche Verschiedenheit der Spannkräfte aber wird in den allermeisten Fällen durch die Temperaturdifferenz zweier dem nämlichen Horizont angehöriger Punkte zuwege gebracht werden. „Ohne Temperaturunterschiede würde in der ganzen Atmosphäre ewige Ruhe herrschen“.*)

Um an einem möglichst einfachen Bilde die Vorstellungen zu fixieren, nehmen wir an, Erdoberfläche und Atmosphäre hätten allenthalben die gleiche Temperatur, und an einer Stelle dieser ersteren werde plötzlich die Temperatur erhöht; welches werden die unmittelbaren Wirkungen dieser lokalen Wärmezufuhr sein? Senkrecht über der Erwärmungsstelle wird sich ein Prozess abspielen, welchen man gemeiniglich als Luftauflockerung bezeichnet; die der Erde mitgeteilte Wärme überträgt sich durch Leitung der jener zunächst anliegenden Schicht der Atmosphäre, und von hier pflanzt sich auf gleiche Weise die Temperaturerhöhung von Luftplatte zu Luftplatte nach oben fort. Hiedurch wird aber in der betreffenden Luftsäule eine Verdünnung eingeleitet, und diese Verdünnung muss auch unseren Luftkörper in irgend einer Weise mit beeinflussen. Wie, das macht uns Fig. 33 klar. In Fig. 33a befindet sich das Parallelepipedum ABCDEFGH derart senkrecht über der rechteckig vorausgesetzten Erhitzungsstelle A_1 B_1 C_1 D_1, dass die Symmetrieachse eines über letzterer errichteten parallelepipedischen Hohlraumes vollkommen mit derjenigen des Parallelepipeds selber zusammenfällt, alsdann werden sich offenbar die auf die Seitenflächen ADHE und BCGF gerichteten Kräfte P_1 und P_2 aufheben, die von unten nach oben wirkende Kraft P_3 dagegen wird grösser sein als die von oben nach unten wirkende Kraft P_4: das Luftstück wird in die Höhe steigen. Anders verhält sich die Sache, wenn wir (Fig. 33b) annehmen, die Seitenfläche ADHE liege genau in einer der Seitenwandungen des vorerwähnten parallelepipedischen Hohlraumes: P_3 und P_4 sind jetzt ganz oder fast ganz gleich, aber P_1 bedeutet nur den Druck verdünnter, P_2 den Druck gewöhnlicher, normaler Luft, und

*) Sprung, Lehrbuch der Meteorologie, S. 112.

sonach ist P_1 kleiner als P_3. Damit also ist eine Horizontalverschiebung des Luftquantums eingeleitet, und es entsteht jene — ganz oder nahezu*) — horizontale Bewegung in der Atmosphäre, welche wir Wind nennen.**) — Ein sehr schönes Beispiel hiefür bietet das Wechselspiel von Land- und Seewind. Die alten Griechen waren mit demselben wohl vertraut, Themistokles baute auf ihr Wehen seinen nachmals so trefflich gelungenen Plan für die

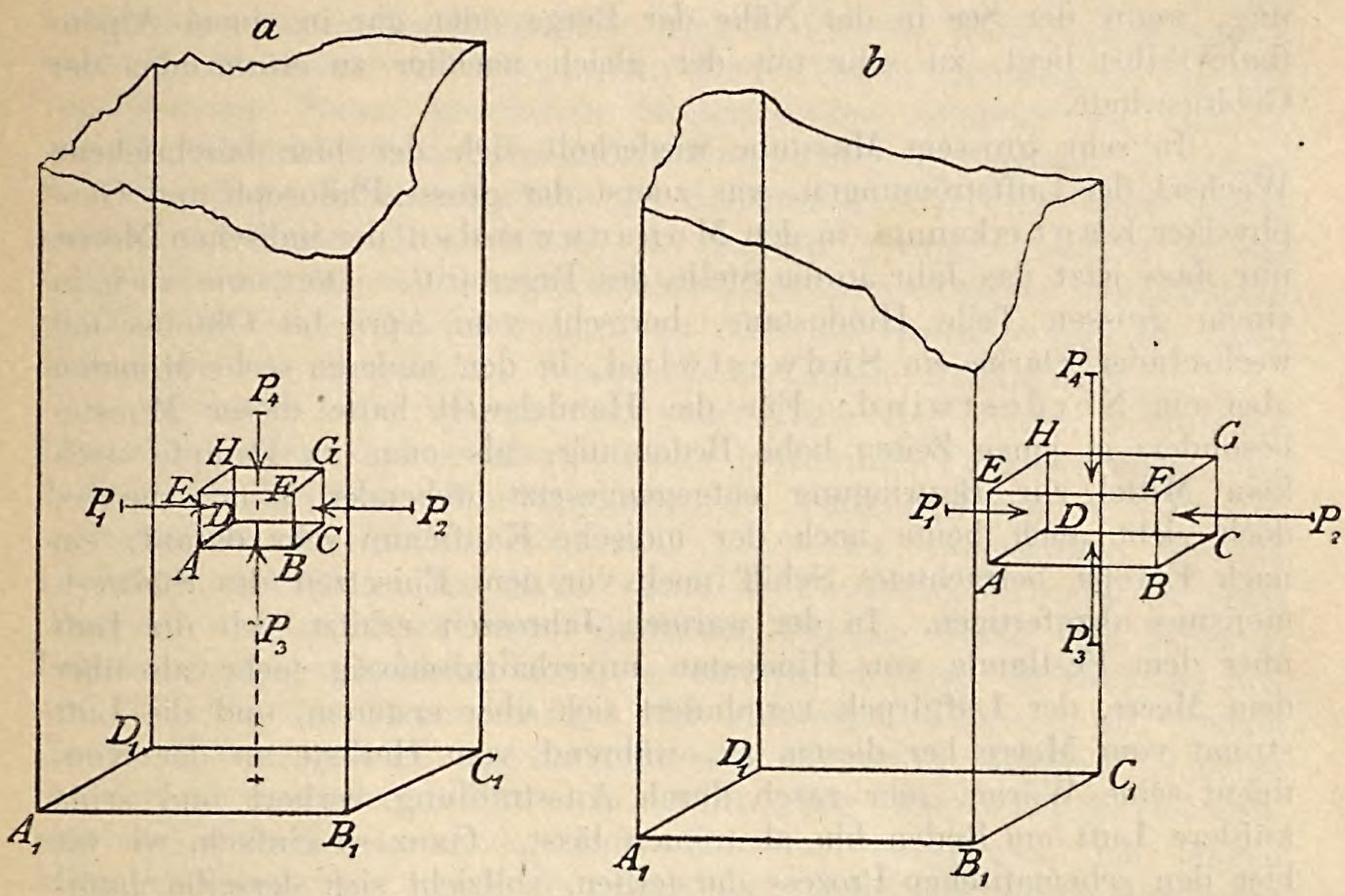


Fig. 33.

Schlacht von Salamis, Anaxagoras, Herodot und bestimmter Teophrast erklärten diesen Wechselwind in einer dem Grundgedanken nach richtigen Weise. Zumal auf den hellenischen Inseln bot sich Gelegenheit zu besonders guten Beobachtungen dar; ausserdem zeigt sich am reinsten das Phänomen an den Küsten der Tropenzone. Bei Tage erhitzt sich das Festland stärker als das Wasser, der aufsteigende Luftstrom erhebt sich vom ersteren aus, und die Seebrise weht vom Meere gegen das Land hin, während in der Höhe die entgegengesetzte Bewegung stattfindet. Weiter drinnen im Meere setzt diese Brise früher

*) Dass ein Wind wirklich genau den Winkel Null mit der Horizontalebene einschliesst, ist natürlich eine Seltenheit, doch erhebt sich dieser Winkel nur selten zu einiger Grösse. Die Ausnahmen, zumal die sogenannten Fallwinde, werden uns später beschäftigen. Das Klinoanemometer von Dechevrens gestattet genauere Winkelmessung.

**) Die hier, indirekt nach Sprung, gegebene Erklärung scheint einen besseren Einblick in den Vorgang zu verstatten, als wenn blos von einer Einsaugung in den entstandenen Hohlraum gesprochen wird.

ein, was zuerst der weitgereiste Dampier erkannte, und was durch die von der Höhe allmählig herabsinkende Luft bedingt wird. Am Mittag wird der Seewind schwächer, gegen Abend lullt er ganz ein, und da nach Untergang der Sonne das mit grösserer Wärmekapazität begabte Wasser seine Wärme weit langsamer als das Festland verliert, so bildet sich die Luftauflockerung jetzt über dem Meere, und es weht die Luft als Landwind unten gegen die See, oben gegen das Festland hin. Schon bei ausgedehnten Landseen bemerkt ein kundiger Beobachter einen solchen Umschlag des Windes, doch kompliziert sich die Erscheinung, wenn der See in der Nähe der Berge oder gar in einem Alpenthale selbst liegt, zu sehr mit der gleich nachher zu erörternden der Gebirgswinde.

In sehr grossem Masstabe wiederholt sich der hier beschriebene Wechsel der Luftströmungen, was zuerst der grosse Philosoph und Geophysiker Kant erkannte, in den Monsunwinden der indischen Meere, nur dass jetzt das Jahr an die Stelle des Tages tritt. Dort, wie auch in einem grossen Teile Hindostans, herrscht vom April bis Oktober mit wechselnder Stärke ein Südwestwind, in den anderen sechs Monaten aber ein Nordostwind. Für die Handelswelt hatte dieser Monsun besonders in jenen Zeiten hohe Bedeutung, als man im Dampfe noch kein Mittel zur Bezwingung entgegengesetzt wehender Winde besass, doch sieht auch heute noch der indische Kaufmann sehr darauf, ein nach Europa befrachtetes Schiff noch vor dem Einsetzen des Südwestmonsuns abzufertigen. In der warmen Jahreszeit erhitzt sich die Luft über dem Festlande von Hindostan unverhältnismässig mehr als über dem Meere, der Luftdruck vermindert sich über ersterem, und die Luft strömt vom Meere her diesem zu, während vom Herbste an der Kontinent seine Wärme sehr rasch durch Ausstrahlung verliert und seine kühlere Luft am Boden hin abströmen lässt. Ganz so einfach, wie wir hier den schematischen Prozess darstellten, vollzieht sich derselbe natürlich nur in Ausnahmefällen; in Madras z. B. besteht für den Beginn des Nordostmonsuns ein Spielraum von etwa fünf Wochen. Der Monsun dringt bis gegen den Himálaya hin vor, äussert sich aber nicht allenthalben gleich, was wohl mit der verschiedenen Höhe dieser ungeheuren Gebirgsmauer zusammenhängt. Wir werden den Gegenstand nochmals da berühren, wo wir auf das Verhalten der Gebirge den gegen sie andringenden Luftbewegungen gegenüber ohnehin zu sprechen zu kommen haben. Für die Intensität des Luftauflockerungsprozesses ist die Thatsache klärend, dass in der Zeit vom Dezember bis Juli der Barometerstand um 12,5 mm sinkt, in China sogar noch mehr. In letzterem Lande nimmt der Monsun, nachdem er sich um den vorliegenden Grenzwall herumgeschlungen hat, eine südliche, dann eine südöstliche und zuletzt eine fast rein östliche Richtung an, wobei die Verschiebung des eigentlichen Aspirationszentrums ebenfalls von Einfluss ist. Das australische Festland bedingt für sich einen besonderen Monsun im kleinen, ähnlich auch Oberguinea in Afrika. Ein Jahreszeitenwind (Mausim-Monsun hat im arabischen diese Bedeutung) kann also auch in anderen Ländern zustande kommen, eventuell so, dass nur die eine der beiden Gegenströmungen zu ihrem Rechte gelangt, die andere dagegen sich

verwischt. Dies trifft zu für die eigentümlichen Dauerwinde im griechischen Archipelagus, die von den Alten vielgenannten und von modernen Philologen sehr unzutreffend mit „Passatwinde" übersetzten ἠτεσίαι, während deren Dauer König Philippus immer seine Operationen gegen die Halbinsel Chalkidike ins Werk setzte, wohl wissend, dass die athenische Flotte alsdann ihren Bundesgenossen nicht zu hilfe zu kommen vermochte (s. die olinthischen Reden des Demosthenes). Zur Sommerszeit bringt fürs aegaeische Meer der erhitzte afrikanische Kontinent eine starke Luftauflockerung in Gang, und die Etesien wehen mit staunenswerter Regelmässigkeit nach Süden; im Winter aber geraten nach Hoffmeyer und Neumann-Partsch in jener Gegend vier von verschiedenen Seiten kommende Minimalreviere einander ins Gehege, und die Südnordströmung kommt dadurch völlig in Fortfall. — Indem Blanford die Luftdruckstände zu Calcutta und an der doch immer ziemlich entfernten Meeresküste mit einander verglich, war er in der Lage, die der Seebrise entsprechenden Druckdifferenzen zu konstatieren. v. Dankelmans Beobachtungen zu Vivi am Kongo weisen ein tiefes Eindringen der abendlichen Westwinde ins innere Afrika nach.

In erster Linie Wärme-, in zweiter Linie von ersterer veranlasste Druckdifferenzen sind es also, welche horizontale Fortbewegungen der Luftteilchen einleiten. Um uns über die Verschiedenheit des Druckes an verschiedenen Stellen recht klar zu werden, konstruiren wir die Isobarenflächen, für deren sämtliche Punkte der Druck der nämliche ist, und wenn wir diese sämtlichen Flächen durch eine beliebige Fläche, eine Vertikalebene etwa, geschnitten denken, so zeichnen sich auf dieser die Isobarenlinien oder kurzweg Isobaren ab, welche für die Witterungslehre eine hervorragende Bedeutung besitzen. Solange das thermische Gleichgewicht nicht beeinträchtigt war, war jede Isobareneine Niveaufläche der Erde, und wenn man einen nicht gar langen Hauptkreisbogen auf dieser als grade Linie betrachtet, durch diese aber eine Ebene senkrecht zur Erdoberfläche legt, kann man für den Fall absoluten Gleichgewichtes die Isobaren in dieser Ebene als parallele Grade auffassen. Mit der Wärmezuführung geht dieser Parallelismus verloren, die Isobaren neigen sich, die Luft in den höheren Regionen erhält ein Gefälle allseitig in der Richtung nach den von der Erwärmungsstelle entfernteren Punkten hin, und da umgekehrt, wie wir sahen, in den tieferen Schichten die Luft das entgegengesetzt gerichtete Gefälle hat, so haben wir es mit einem Zirkulationssysteme zu thun, für welches die Tendenz massgebend ist, gleichen Luftdruck in gleichem Niveau wiederherzustellen.

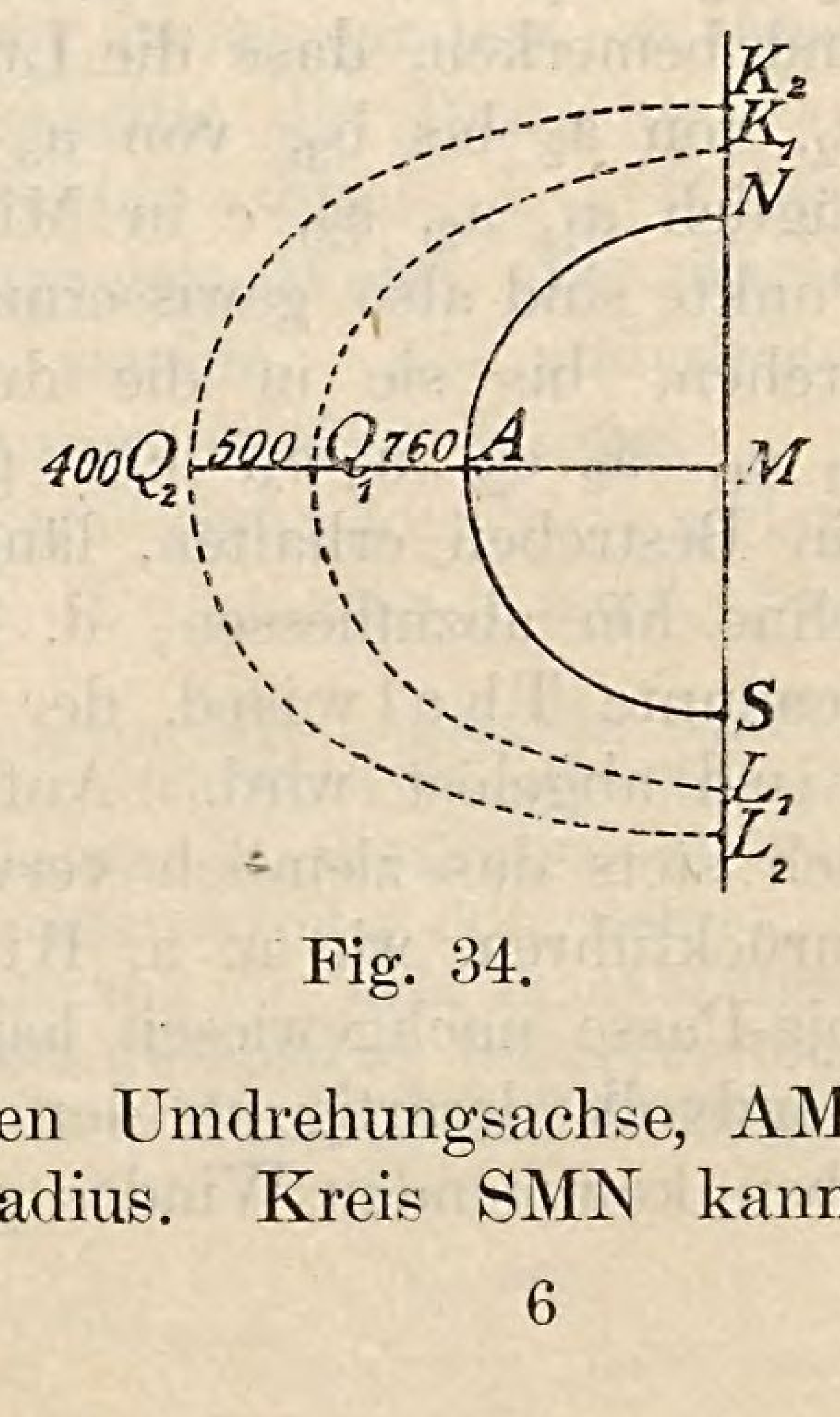


Fig. 34.

Ein Beispiel soll diesen allgemeinen Satz sofort an dem speziellen Falle unserer Erde erläutern. S N (Fig. 34) sei deren Umdrehungsachse, AM der in die Papierebene fallende Aequatorialradius. Kreis SMN kann

ungefähr als die Isobare von 760 mm aufgefasst werden, da dies, wie wir schon wissen, den unter gewissen Bedingungen am Meeresspiegel herrschenden Normaldruck vorstellt. Am Aequator ist unter sonst gleichen Umständen die Erwärmung ein Maximum, an den Polen ein Minimum, und man wird deshalb unter dem Gleicher sich bis zu einer viel grösseren Höhe über dem Erdboden erheben müssen als unter den Polen, um den nämlichen Betrag des Luftdruckes zu erhalten; schneiden in unserer Figur die Isobaren von 500 mm und 400 mm etwa die Achse in K_1, K_2 und L_1, L_2, den verlängerten Aequatorialhalbmesser hingegen in Q_1, Q_2, so muss $MQ_1 > MK_1$ oder ML_1, $MQ_2 > MK_2$ oder ML_2 sein, und die Luft muss oben vom Aequator zu den Polen, unten von den Polen zum Aequator abfliessen, womit denn für die beiden Halbkugeln der Erde je Ein grossartiges Zirkulationssystem gegeben wäre. Stünde die Erde still oder stellte sie selbst nur einen um seine Längsachse rotierenden Zylinder dar, so würde sich auch alles genau ebenso verhalten, wie wir es soeben skizzierten, allein durch den Umstand, dass die Erde eine rotierende Kugel ist, wird im Vereine mit einigen sekundären Einflüssen das schematische Verhältnis, wie wir bald sehen werden, eine nicht unerhebliche Abänderung erfahren.

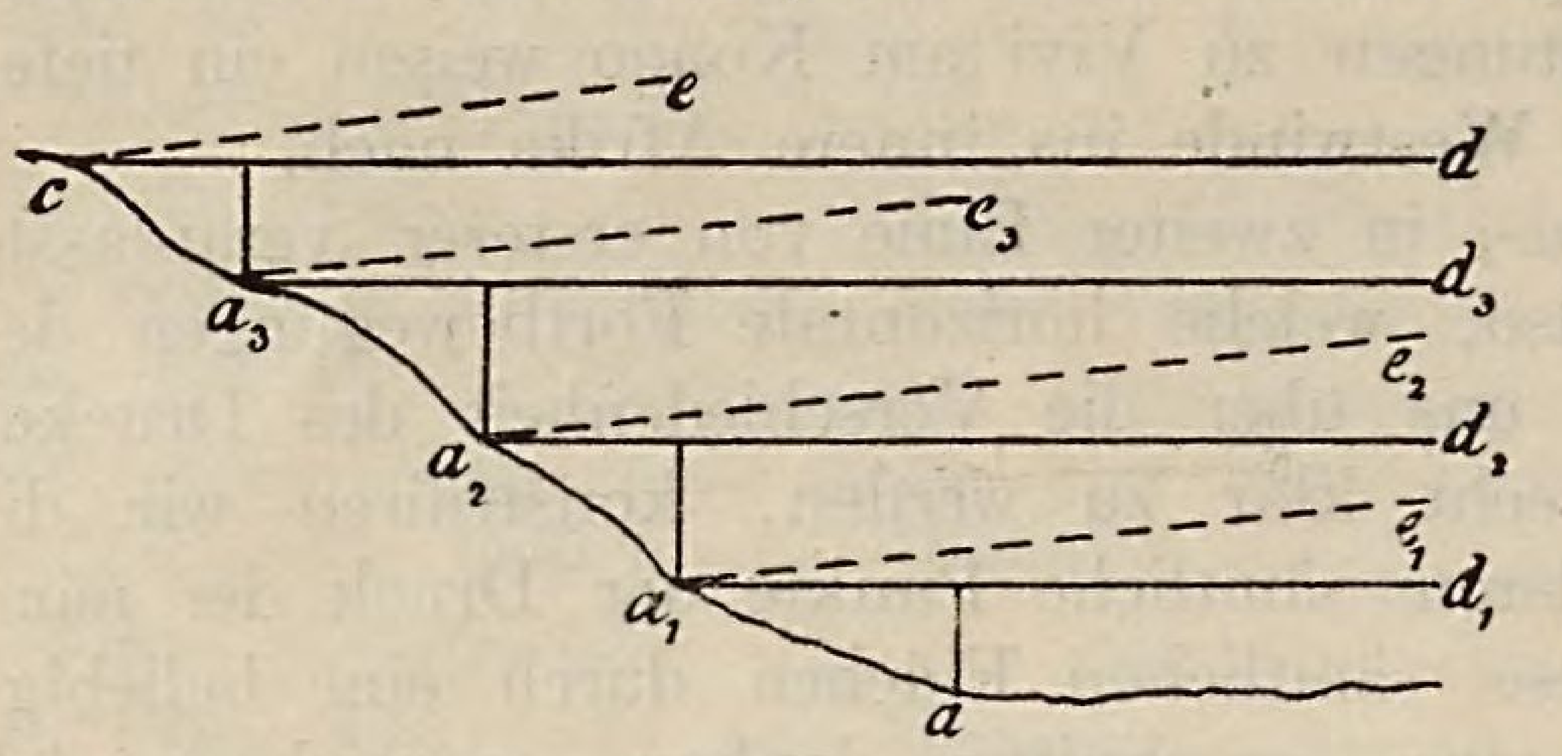


Fig. 35.

Die Senkung der Isobaren wollen wir noch an einem anderen ebenso einfachen wie typischen Beispiele nachweisen. ac (Fig. 35) sei ein Bergabhang, auf dem einzelne Punkte a_1, a_2, a_3 markiert sein sollen. Die Luft befinde sich in einem Zustande grosser Ruhe, so dass wir uns berechtigt halten dürfen, die Durchschnitte der Isobarenflächen mit der Papierebene als horizontale grade Linien $a_1 d_1$, $a_2 d_2$, $a_3 d_3$, c d vorauszusetzen. Nun beginne, etwa beim Sonnenaufgang, die Erwärmung; wir denken uns von a, a_1, a_2, a_3 resp. auf die Isobaren die Lote ab_1, $a_1 b_2$, $a_2 b_3$, a_3 b gefällt und bemerken, dass die Luftauflockerung von a schon bis b_1, von a_1 bis b_2, von a_2 bis b_3, von a_3 bis b vorgeschritten sein wird, ehe noch bezüglich a_1, a_2, a_3, c in Mitleidenschaft gezogen werden. Letztgenannte Punkte sind also gewissermassen die Pivots, um welche sich die Isobaren drehen, bis sie in die durch gestrichelte Linien angedeuteten Lagen $a_1 e_1$, $a_2 e_2$, $a_3 e_3$, c e gelangen. Die Luft muss angesichts dessen ein Bestreben erhalten, längs der Linien $a_1 e_1$ u. s. w. gegen die Berglehne hin abzufliessen, d. h. sobald es warm wird, erhebt sich der sogenannte Thalwind, der nach längerer Windstille abends vom Bergwind abgelöst wird. Auf diese einfache Hannsche Erklärung lässt sich stets das ziemlich verwickelte Phaenomen der Berg- und Thalwinde zurückführen, wie u. a. Billwiller für die Windverhältnisse am Maloja-Passe nachgewiesen hat. In nicht wenigen Gebirgsthälern ist das Landvolk derartig an den regelrechten Wechsel des von unten und von oben kommenden Windes gewöhnt, dass es im Ausbleiben desselben ein

Vorzeichen schlechten Wetters erkennt, und es mag dieser Vorstellung insoferne einige Realität beiwohnen, als eine Abweichung von der Regel auf anomal gelagerte Luftdruckverhältnisse hindeutet. Ein sehr merkwürdiger Wind dieser Gattung ist der allen Meteorologen wohl bekannte durch das Querthal des nassauischen Flüsschens Wisp bei Lorch senkrecht in das Rheinthal hereinwehende Wisperwind, dessen Entstehungsweise zuerst durch eine Monographie von Berger physikalisch klargestellt worden ist. —

Auch durch das Experiment kann man sich von der Richtigkeit der hier dargelegten Theorien überzeugen, wie dies Vettin nachgewiesen hat.*) Man nimmt ein parallelepipedisches Gefäss mit Glaswänden, lässt durch einen in die Bodenfläche mündenden Gummischlauch langsam Tabakrauch eintreten und wartet ab, bis sich dieser in einer dünnen Schicht längs des Bodens ausgebreitet hat. Dann führt man irgend einer Stelle durch Unterhalten einer Lichtflamme oder selbst nur des die natürliche Körperwärme in sich tragenden Fingers eine höhere Temperatur zu und sieht sofort den aufsteigenden Luftstrom („courant assendant“ der Franzosen) entstehen. Auch kann man es zu einer Doppelzirkulation bringen, wenn man, ehe man den Rauch einströmen lässt, zu beiden Enden der Bodenfläche je ein Eisstück hinlegt.

Wie schon bemerkt, kann das allgemeine Schema der Luftzirkulation, wie wir es eben im vorstehenden konstruiert haben, in der Natur niemals ganz so zum Ausdrucke gelangen, weil eine immer wirkende Kraft störend sich geltend macht. Dieser Einfluss ist zurückzuführen auf die Achsendrehung der Erde. Diese ist allerdings nicht imstande, einem ruhenden Körper irgendwelche Bewegung zu erteilen, wohl aber modifiziert sie den Bewegungszustand eines jeden materiellen Punktes, der durch einen wie immer beschaffenen Impuls aus seiner Gleichgewichtslage herausgebracht worden ist. Da in diesem Falle zwei Kräfte auf den Punkt wirken, nämlich eine Momentankraft, welche an und für sich das Mobil mit gleichförmiger Geschwindigkeit sich fortzubewegen und in gleichen Zeiten gleiche Wege zurückzulegen zwingen würde, und eine sich immer wieder erneuernde Kraft, so kann der getroffene Punkt sich nicht in einer graden Linie, sondern er muss sich in einer Kurve bewegen. Man pflegt dieselbe die Trägheitskurve zu nennen, und ihre Verhältnisse sind durch Buff und Zöppritz, ganz besonders und in systematischer Weise aber durch Sprung**), der Untersuchung unterworfen worden. Als endgiltiges Ergebnis derselben kann der folgende Satz ausgesprochen werden:

Ein jeder auf der Erdoberfläche oder ihr parallel sich bewegender Körper hat die Tendenz, auf der

*) Eine Reihe dieser Versuche, schon vor längerer Zeit angestellt, wurden von Vettin im 100. und 102. Bande der „Annalen der Physik und Chemie“ beschrieben; ebenda kann man sich über die einen sehr merkwürdigen Beitrag zur Geschichte des menschlichen Herzens liefernden Streitigkeiten unterrichten, in welche sich der Experimentator zu seiner Verwunderung mit dem damals allgewaltigen Dove verwickelt sehen musste (s. o.). Ueber die spätere, sehr erweiterte Versuchsreihe Vettin's berichten Band 1 und 2 der „Meteorolog. Zeitschrift.“

**) Sprung, a. a. O., S. 16 ff.

nördlichen Hemisphaere nach rechts, auf der südlichen nach links von seiner ursprünglichen Bewegungsrichtung abzuweichen, und zwar ist diese Tendenz völlig unabhängig von dem Winkel, den jene Richtung mit dem Meridiane einschloss,*) ihrer Grösse nach aber gegeben durch das Produkt aus der doppelten Masse des Körpers in dessen Geschwindigkeit, in die Winkelgeschwindigkeit der Erde und in den Sinus der geographischen Breite.

Für die Umgebung eines der beiden Erdpole geht diese Trägheitsbahn z. B. in einen Kreis über. Da, wie unser Satz klarlegt, das Azimut gar keine Rolle spielt, so sehen wir jetzt sofort auch ein, wie sehr Dove im Unrechte war, als er behauptete, eine genau längs einem Parallelkreise der Erde vor sich gehende Bewegung sei einer Ablenkung infolge der Achsendrehung gar nicht fähig. Nicht minder klärt uns die gewonnene Erkenntnis über eine Frage auf, welche in der Geschichte der neueren Meteorologie eine gewisse Wichtigkeit erlangt hat und allerdings auch schon durch Dove richtig entschieden worden war, den freilich dabei mehr ein Gefühl des Wahren als vollkommene Einsicht in das Wesen des Gegenstandes geleitet hatte. Es handelte sich um die Entstehung des Fönwindes, mit welchem wir uns später unter ganz anderen Gesichtspunkten zu beschäftigen haben werden. Mehrere schweizerische Forscher, unter denen Desor und Escher v. d. Linth in erster Reihe standen, hatten sich auf einer geologischen Reise durch die Wüste Sahara von der Überzeugung durchdringen lassen, dass dieselbe zum grossen Teile alter Meeresboden sei; das Becken sei erst in jüngster geologischer Vorzeit ausgetrocknet, und erst von dem Momente an, da dieser Prozess sich vollzogen gehabt habe, hätten heisse Wüstenwinde über das mittelländische Meer und über die Alpenkette herüberzuwehen angefangen, deren glühender Atem denn auch bald der damals herrschenden „Eiszeit“ ein Ende bereiten musste. Die so schlossen, übersahen vollkommen, dass die etwa durch einen Südwind anfänglich in genau nördlicher Richtung fortgetriebenen Luftteilchen nicht dauernd in dieser meridionalen Richtung verbleiben, sondern auf der ihnen zukommenden Trägheitskurve sich bewegen und somit den unseren Zentralalpen entsprechenden Breitengrad erst auf asiatischem Gebiete erreichen würden.

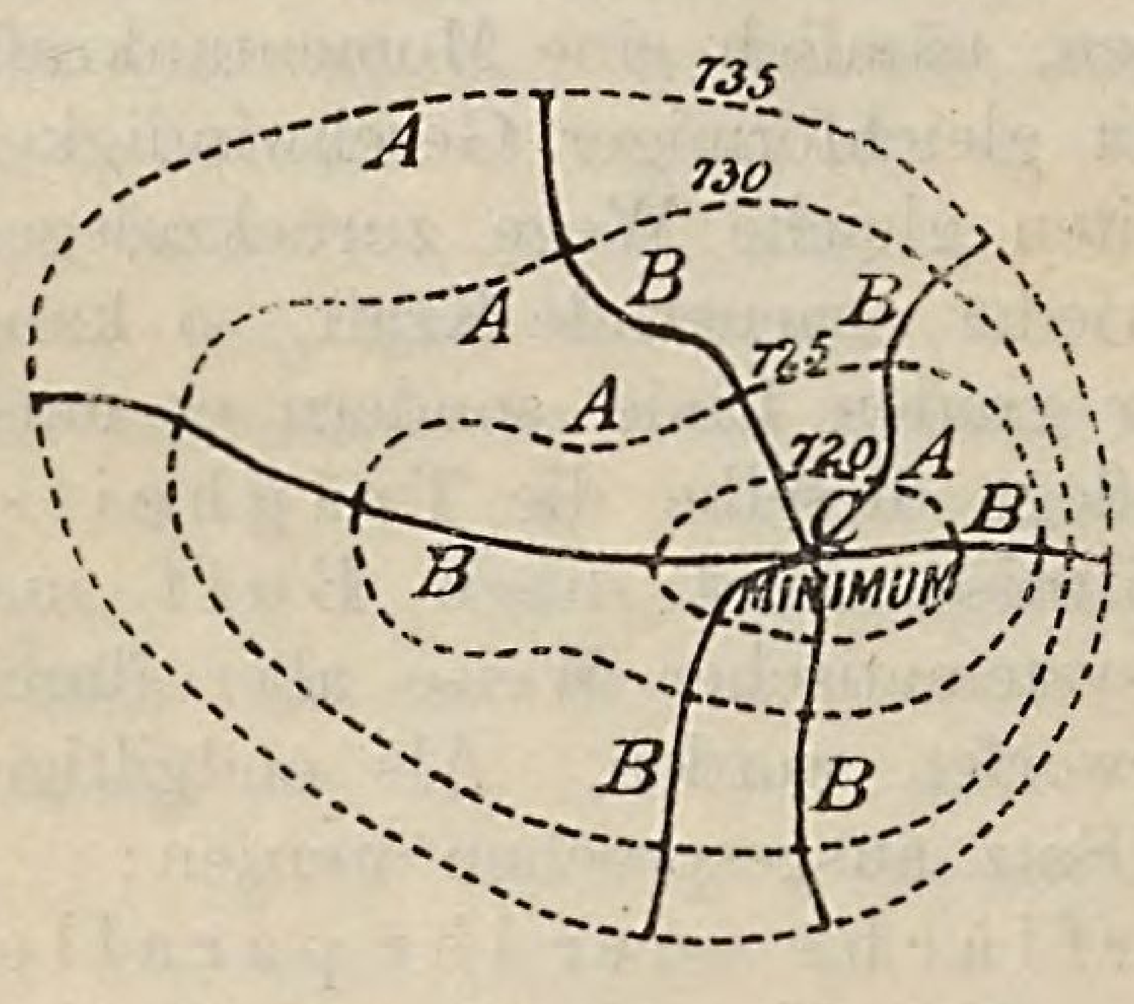


Fig. 36.

Wir wollen nunmehr die Beschaffenheit der Windbewegung etwas genauer ins Auge fassen, und zwar für ein ganz willkürlich beschaffenes Isobarensystem. Wir sehen ein solches vor uns in Fig. 36;

*) Den von einer Graden mit der Nordsüdrichtung gebildeten Winkel, vom Südpunkte des Horizontes aus über West und Nord nach Ost herumgezählt, pflegt die Astronomie das Azimut zu nennen.

die gestrichelt gezeichneten Linien sind Isobaren, welche, wie die beigesetzten Zahlen ersehen lassen, aequidistanten Barometerständen *) entsprechen würden, und jede dieser Kurven umschliesst vollständig einen Punkt, für welchen der Luftdruck ein relatives Minimum, d. h. geringer als an irgend einem in der (weiteren) Umgebung befindlichen Punkte ist. Die Geometrie lehrt, dass es zu jedem nach einer gewissen Ordnung gebildeten Systeme A zusammengehöriger Linien ein zweites System B gibt, dessen einzelne Individuen auf jeder einzelnen Kurve des ersten Systemes senkrecht stehen: jede Kurve von System A ist eine Orthogonalkurve von System B, und umgekehrt ist jede Kurve von System B eine Orthogonalkurve von System A.**) In unserer Zeichnung sind die Orthogonalkurven der gestrichelten Kurvenschar durch ganz ausgezogene Linien dargestellt, die sämtlich in C, dem Punkte des Minimums — oder, wie man auch sagt, der atmosphaerischen Depression — zusammenlaufen. Jetzt ist, wenn wir wieder fürs erste die Mitwirkung der Erdrotation ausser acht lassen, die Bewegung eines jeden Luftmoleküles gegeben durch einen die gesamte mathematische Physik beherrschenden, speziell für die Meteorologie aber durch den Amerikaner Stevenson formulierten Lehrsatz:

Jedes Luftteilchen bewegt sich nach dem Depressionszentrum hin auf einer Orthogonalkurve des Isobarensystemes; die Geschwindigkeit des Teilchens ist eine umso grössere, je geringer an der betreffenden Stelle der senkrechte Abstand zweier unmittelbar aufeinanderfolgender Ortskurven gleichen Luftdruckes ist.

Um die zuletzt angedeutete Proportionalität bequemer ausdrücken zu können, bedient sich unsere Wissenschaft eines — ungemein häufig vorkommenden — Kunstwortes. Man nennt nämlich sowohl die Richtung als auch den reziproken Wert des zwischen zwei Konsekutivkurven enthaltenen Stückes der Orthogonalkurven den Gradienten und bestimmt dessen Wert in folgender Weise: Entspricht in der Richtung des Gradienten einer Distanz von 111 km (Grösse eines Aequatorgrades) eine Abnahme des Luftdruckes um k mm, so ist k die Grösse des Gradienten. Der zweite Teil des Stevensonschen Lehrsatzes, welcher durch die gleich jetzt mit Rücksicht auf die Erdumdrehung anzubringende

*) Wenn wir, wie häufig, die Worte Luftdruck und Barometerstand als gleichbedeutend gebrauchen, so ist vorausgesetzt, dass die Barometerstände sämtlich auf die Temperatur 0°, auf gleiches Niveau und auf gleiche geographische Breite reduziert sind.

**) Die Physik der Erde hat es mit einem solchen doppelten Kurvensysteme gar nicht selten zu thun. Verzeichnet man z. B. für hügeliges Terrain als System A die Isohypsen oder aequidistanten Niveaulinien, so sind die Linien des Sytemes B durch die Kurven des Wasserlaufes repräsentiert. Sowohl in der Gravitationstheorie als auch in der Lehre vom Erdmagnetismus hat man ferner häufig (s. o.) das System A als dasjenige der Linien von gleichem Potentiale aufzufassen, auf welchen sämtlich die Kraftlinien, als Linien von B, normal stehen.

Korrektion weit weniger berührt wird als der erste, kann demnach jetzt auch so lauten: Die Windgeschwindigkeit ist dem Gradienten direkt proportional.

Sowohl theoretische Rücksichtnahme auf die Erdbewegung als auch die Betrachtung isobarischer und zugleich die Windrichtung zur Darstellung bringender Karten führte nun zu Beginn der sechziger Jahre*) — wie wir oben sahen, fast gleichzeitig — eine ganze Reihe hervorragender Gelehrter zur Aufstellung eines neuen Gesetzes, welches wir entweder kurz als das barische Windgesetz oder auch, dem Manne zu Ehren, der die Entdeckung jedenfalls auch von sich aus gemacht und seine ganze Kraft an ihre Weiterführung gesetzt hat, als das Gesetz von Buys-Ballot bezeichnen. Dasselbe lässt die nachstehende Wortfassung zu:

Auf der nördlichen Halbkugel wird die Luftströmung, welche an und für sich längs des Gradienten von einem Punkte höheren zu dem Punkte tieferen Luftdruckes erfolgen sollte, gegen den Gradienten rechts abgelenkt. Wenn man also dem Winde den Rücken zukehrt, so hat man den niedrigeren Luftdruck links und etwas nach vorne, den höheren rechts und etwas nach hinten. Befindet man sich auf der südlichen Halbkugel, so hat man einfach die Worte „rechts" und „links" mit einander zu vertauschen.

Der von dem Gradienten mit der wirklichen Windrichtung eingeschlossene Winkel erreicht nur in seltenen Fällen 90°, doch ist dieser Ablenkungswinkel auch fast niemals gleich Null. Eine nähere Untersuchung, wie sie besonders von Sprung durchgeführt worden ist,**) lässt erkennen, dass die Grösse des Ablenkungswinkels in hohem Grade von den Reibungswiderständen abhängig ist, welche die Luftströmung zu überwinden hat, indem wachsende Reibung ein Kleinerwerden dieses Winkels zur Folge hat; ***) nicht minder wird er kleiner, je mehr man sich dem Aequator nähert, an welchem ja auch, da er sowohl der nördlichen als auch der südlichen Hemisphäre angehört, die der Erdumdrehung zugeschriebene Deviation strenge genommen nicht vorhanden ist.

Übrigens soll nicht verschwiegen werden, dass ab und zu auch Abweichungen vom barischen Windgesetze vorkommen. v. Bezold und Möller haben bei Gewitterstürmen Windbahnen konstatieren können, welche vollständig mit dem Gradienten zusammenfielen. Möller ist der Meinung, dass immer ein längerer Zeitraum nötig sei, um vorher in

*) Neben Brandes, dessen die geschichtliche Einleitung gedenkt, sind mit dem Gesetze, ohne es gerade klar zu formulieren, bereits der Engländer Galton und der Amerikaner Coffin bekannt gewesen.

**) Sprung, a. a. O., S. 116 ff.

***) Die Reibung an der Erdoberfläche wird im allgemeinen dann geringer sein, wenn die Luftströmung über das freie Meer, als wenn sie über koupiertes Festland hingleitet. In der That ergibt auch die Erfahrung den Fingerzeig, dass die Abweichung der Windbahn vom Gradienten auf hoher See grösser ist als an der Küste und an der Küste eines Kontinentes wieder grösser als in dessen Innerem.

Ruhe befindliche Luft aus der ihr zunächst angewiesenen Richtung des Gradienten herauszudrängen. Übrigens bringt die Dynamik der Gewitter, wie sich am Schlusse dieses Hauptstückes ergeben wird, so viel des ungewöhnlichen mit sich, dass obige Anomalie nicht besonders auffallen kann. Das senkrechte Schneiden der Isobaren und der Windbahnen wird uns an jenem Orte gleichfalls noch beschäftigen.

Jede Luftbewegung der beschriebenen Art, wie sie in der Umgebung eines barometrischen Minimums sich gestalten muss, nennt man eine Zyklonalbewegung, der Wind selbst führt den Namen Zyklone. Ursprünglich war diese Bezeichnung für die gefährlichen Wirbelstürme der Tropenländer gebräuchlich, deren Entstehung man sich sowohl von der Entstehung der Stürme unserer gemässigten Zone als auch von derjenigen des gewöhnlichen Windes grundverschieden dachte; war doch ein Dove mit der ganzen seinem Namen anhaftenden Autorität für diese Verschiedenheit eingetreten. Die Ausbildung der dynamischen Meteorologie brachte es dahin, dass man den erwähnten Gegensatz nicht mehr als einen prinzipiellen sondern nur als einen graduellen aufzufassen lernte, und damit war auch die Berechtigung für die jetzt übliche Nomenklatur gegeben. Die Zyklonalbewegung bringt es mit sich, dass ein derselben angehöriges Luftteilchen das Depressionszentrum selbst dann niemals erreichen kann, wenn letzteres als absolut stabil vorausgesetzt würde. Man kann demnach den Charakter der innerhalb einer Zyklone vor sich gehenden Ortsveränderungen so zeichnen:

Jedes Luftteilchen bewegt sich in einer spiraligen Bahn um das Depressionszentrum als asymptotischen Punkt.*)

Neben der Zyklonalbewegung ist nun auch die Antizyklonalbewegung ins Auge zu fassen, welche jedesmal durch das Vorhandensein eines barometrischen Maximums, eines Elevationszentrums, ausgelöst wird. Um ein solches pflegen sich die Isobaren meist viel weniger dicht zu lagern als um ein Minimum, und es ist somit auch der Gradient kleiner, die demselben proportionale Windgeschwindigkeit geringer. Die Bewegung der Luftteilchen erfolgt im allgemeinen so, dass dieselben von dem Elevationszentrum sich zu entfernen streben, wobei die Bahnen natürlich auch nicht gradlinig sondern nach rechts oder links — je nach der Halbkugel — spiralig gebogen ausfallen. Die Grösse des Ablenkungswinkels wird bei den Antizyklonen im allgemeinen die bei den Zyklonen beobachtete nicht übertreffen, ja sogar erkennbar hinter dieser zurückbleiben; es ist dies theoretisch aus der in beiden Fällen sich mit verschiedenem Vorzeichen kombinierenden Wirkung von Zentrifugalkraft und ablenkender Kraft der Erdrotation zu schliessen, und das Studium der Wetterkarten liefert dafür die erfahrungsmässigen Belege. Obwohl die Dynamik der Atmosphäre als solche für Zyklone und Antizyklone dasselbe Interesse an den Tag zu legen hätte, wird doch

*) Um sich das Wesen eines solchen unerreichbaren Punktes recht klar zu machen, denke man an die Loxodrome der Seeleute, auf welcher sich ein stets den nämlichen Kurs innehaltendes Schiff bewegt. Diese krumme Linie, welche jeden Meridian unter gleichem Winkel schneidet, legt sich in unzähligen Windungen um den asymptotischen Erdpol herum.

die Meteorologie von selbst dazu getrieben, sich weit mehr mit der ersteren Art von Luftbewegung zu beschäftigen, weil sie in erster Linie die Beschaffenheit der Witterung bedingt.

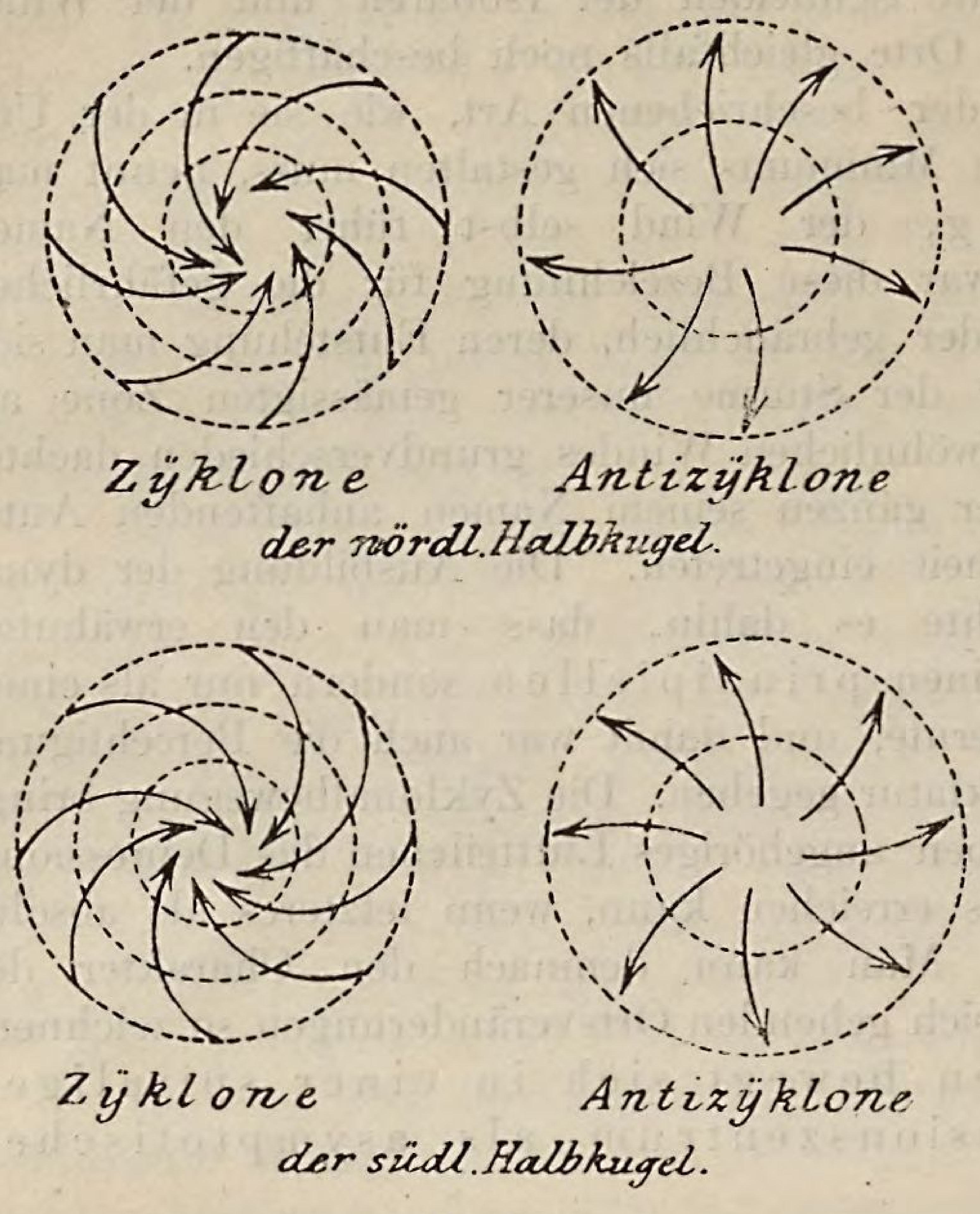


Fig. 37.

Fig. 37 führt dem Leser, nach Mohn,*) das schematische Bild der Zyklone und Antizyklone in seiner Verschiedenheit für die beiden Halbkugeln der Erde vor.

Eine grössere Anzahl von Mathematikern — wir nennen nur den Amerikaner Ferrel, die Norweger Guldberg und Mohn, die Deutschen Oberbeck, Sprung und Möller und den Italiener Marchi — hat sich damit beschäftigt, die soeben in ihren Grundzügen skizzierte barische Windtheorie nach der analytischen Seite hin weiter auszuführen, und in Sprungs Lehrbuch**) finden wir von all diesen Arbeiten eine übersichtliche Zusammenstellung. Die Methode der Forschung bleibt für uns an diesem Orte transzendent, auf die Resultate soll jedoch mit einigen Worten eingegangen werden. Der denkbarst einfache Fall ist offenbar der, dass am (horizontal gedachten) Grunde des Luftmeeres ein gleichfalls horizontaler Luftstrom sich in gradliniger Bahn und mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegt. Dann ist das System der Isobaren ein solches paralleler grader Linien, die Richtung des Gradienten ist allerorts die gleiche, die Grösse des Gradienten ist dem Produkte aus Geschwindigkeit und Dichte der Luft proportional. Die empirische Prüfung dieses Satzes erfolgte in der Weise, dass man die in einer Anzahl passender der Erfahrung entnommener Fälle die Windgeschwindigkeit mass und mit der theoretisch berechneten verglich. Für das Meer war die Übereinstimmung eine gute, für die Küstenstationen eine leidliche, im Binnenlande aber liess sie sehr viel zu wünschen übrig, was natürlich mit der dortselbst statthabenden Reibung zusammenhängt. Um dieser Reibung gerecht zu werden, pflegt man in die Grundgleichungen der Bewegung noch eine dieser Bewegung entgegengesetzt gerichtete und der Geschwindigkeit proportionale Kraft einzuführen. Da fand sich

*) Mohn, Grundzüge der Meteorologie, Berlin 1883. S. 227.
**) Sprung, a. a. O., S. 132 ff.

der merkwürdige Satz*): Wenn in einem unveränderlichen Luftwirbel dem Einflusse der Erdrotation und Reibung zum Trotze das Prinzip der Flächen**) giltig bleiben soll, so muss jedes Luftteilchen in einer logarithmischen Spirale sich bewegen, d. h. in einer Kurve, die für die Ebene genau dasselbe wie die Loxodrome (s. o.) für die Kugelfläche ist und alle von dem festen Punkte (auf der Achse des Wirbels) ausgehenden Fahrstrahlen unter konstantem Winkel durchschneidet. Dieses Gesetz gilt bis zu einem gewissen Grade auch für die äusseren Gebiete der atmosphärischen Wirbel; die Windgeschwindigkeit ist in der Zyklone sowohl wie auch in der Antizyklone dem Abstande vom Zentrum direkt proportional, und der Ablenkungswinkel ist in der Zyklone der entschieden grössere. Unter gewissen einschränkenden Bedingungen, unter denen die wichtigste die ist, dass die von jedem einzelnen Luftmolekül beschriebene Bahn oder, wie man auch sagen kann, jeder Stromfaden nahezu in einer Horizontalebene verbleibt, ist ein stationäres zyklonisches Windsystem hinsichtlich seines Bewegungszustandes dadurch bestimmt, dass erstens der Durchmesser des inneren Gebietes und zweitens die Windgeschwindigkeit in einer beliebigen Entfernung vom Zentrum als bekannt vorausgesetzt werden kann. Ein Element trat bei den hier skizzirten Studien vielleicht etwas zu sehr in den Hintergrund, nämlich die verschiedene Dichtigkeit der Atmosphäre, und diesem Mangel sucht deshalb die bereits erwähnte Arbeit von Marchi abzuhelfen. Wenn man die Rotationsgeschwindigkeit zu dem doppelten Produkte aus der Winkelgeschwindigkeit der Erde in den Sinus der Polhöhe hinzuaddiert, erhält man das, was jener Italiener Gesamtrotation nennt, und die Ortskurven gleicher Gesamtrotation sind zugleich Kurven gleicher Dichte.

Dass Zyklone und Antizyklone keine von einander unabhängigen Luftbewegungen sondern wechselseitig durch einander bedingt sind, dürfte aus vorstehendem mit voller Klarheit hervorgehen. Im allgemeinen kann man sagen,***) dass zu einer vollständigen Zyklone dreierlei gehört: ein inneres Gebiet mit aufsteigendem Luftstrome, eine sich um erstere herumlagernde Zone mit reiner Horizontalbewegung und, in grösserer Entfernung vom Zentrum, ein ringförmiges Gebiet absteigender Luftströme. †)

Die Entstehung der Zyklone lässt sich verschiedenartig auch durch den Versuch zur Anschauung bringen. So hat Andries gewisse Wasserwirbel erzeugt, welche den analogen Luftwirbeln vollkommen gleichen; in eine mit Wasser angefüllte Glocke wurden Festkörperchen

*) Ebenda, S. 139.

**) Dieses Princip ist nichts anderes als das erste (der Zeitfolge nach) der drei von Kepler entdekten Gesetze der Planetenbewegung. Der vom Anziehungszentrum nach dem sich bewegenden Punkte hin gezogene Fahrstrahl oder Radius Vektor überstreicht in gleichen Zeiten auch gleiche Flächenräume.

***) Sprung, a. a. O., S. 158.

†) Im wesentlichen stimmt hiemit das von Marchi auf noch strengerem Wege aus den allgemeinen Gesetzen der Wirbelbewegung hergeleitete Ergebnis: Der Druck im Zentrum einer Zyklone sinkt beständig, um diese bildet sich in einiger Entfernung eine ringförmige Antizyklone, und so liegt dem Zentrum zunächst in der Natur eine heitere Region, allseitig umgeben von einer bewölkten und regenreichen Zone.

eingestreut, um die Stromfäden genauer verfolgen zu können, und dann ward ein — bis zu einer gewissen Tiefe vertikal in die Flüssigkeit gehaltenes — Brettchen durch eine rasche Bewegung parallel mit sich selbst fortgezogen. Hinter und vor dem Brettchen bildete sich je ein Wirbel in der Form eines nach oben sich öffnenden Kegels, und wenn die Fortbewegung keine allzu rasche war, liess sich die Form von Staubwirbeln, z. B. der von Reye diskutierten und abgebildeten Aschentrombe *) des Vulkanes von Santorin, täuschend ähnlich nachahmen. Schon lange vorher sind nach Hildebrandsson von dem schwedischen Physiker Wilcke, dem Konstrukteur der ersten magnetischen Neigungskarte, ähnliche Experimente gemacht worden. Direkt für luftförmige Körper hat Vettin (s. o.) die Zyklonalbildung studiert. Er liess in der von uns beschriebenen Weise einen aufsteigenden Luftstrom entstehen, setzte dann aber die Platte des Rotationsapparates, auf welche er vorher den Versuchskasten gestellt hatte, in Bewegung und machte so die Stromfäden als Spiralen erkennbar, welche unten vom Zentrum gegen die Peripherie und oben von dieser wieder gegen das Zentrum verlaufen. Dadurch war nach Thunlichkeit die Analogie zwischen den künstlichen Wirbeln und den unter der gemeinsamen Einwirkung von lokaler Luftauflockerung und Erdumdrehung entstandenen natürlichen Wirbeln hergestellt.

Bisjetzt wurde, sowie von dem den ganzen Bewegungsprozess einleitenden aufsteigenden Luftstrome abzusehen war, die Wirbelbewegung der Luftteilchen als eine in der Hauptsache horizontale betrachtet, allein nunmehr ist es Zeit, auch der vertikalen Bewegung noch etwas eingehender zu gedenken. Der Begriff des Gradienten ist jetzt ebensogut anwendbar wie vorhin vertikaler Gradient ist die in mm Quecksilberhöhe ausgedrückte Differenz der Barometerstände für zwei um 111 km auseinanderliegende Niveauflächen der Erde. Der Bewegungszustand in der Luft wird, solange nur von einer freien Atmosphäre die Rede ist, auf die Druckverteilung keinen irgend erheblichen Einfluss ausüben, während es sich in der Nähe hervorragender Gebirgskämme allerdings etwas anders verhalten muss.

Je nachdem die Luft eine trockene oder feuchte ist, wird die von jeder vertikalen Erhebung unter gewöhnlichen Verhältnissen unzertrenn-

*) Unter einer Trombe oder Windhose (Wasserhose, Staubhose Sandhose) versteht man aufsteigende Luftströme von horizontal sehr geringer Ausdehnung, innerhalb deren gewöhnlich — jedoch nicht notwendig — eine wirbelnde Bewegung der Luftteilchen stattfindet. Die Trombe stellt sich dem Auge dar als eine finstere, momentan die Wolkenregion mit der Erdoberfläche in Verbindung setzende Säule, welche an ihrem unteren Ende eine starke Saugwirkung auf die ihr in den Weg kommenden Gegenstände ausübt und auf dem Meere sogar den Schiffen — die sich oft durch Abfeuern der Kanonen gegen die Mitte des dünnen Luftschlauches zu sichern suchen — gefährlich werden kann. Holtz beschreibt (Mitteil. d. naturwissensch. Ver. von Neuvorpommern und Rügen, 13. Band) ein Verfahren zur künstlichen Darstellung solcher Tromben. In ein Gefäss gibt man eine leitende und isolierende Flüssigkeit; in die erstere (Wasser) taucht der zu einem Pole einer starken Influenzmaschine führende Draht, während die andere (Petroleum) durch eine scheibenförmige Elektrode mit dem anderen Pole kommuniziert. Das Wasser erhebt sich 10 bis 30 Millimeter hoch.

liche Temperaturabnahme verschieden ausfallen. Man nimmt in der Regel, hauptsächlich mit Rücksicht auf eine Versuchsreihe, die man Weilenmann verdankt, als Thatsache an, dass einer Hebung um 100 m in ganz trockener Luft eine Temperaturverminderung um 1⁰ entspreche, doch gilt diese Beziehung eigentlich nur unter zwei in aller Strenge niemals erfüllbaren Voraussetzungen: entweder müsste die Gesamtatmosphäre in einer vertikal aufsteigenden Bewegung begriffen oder es müsste der betreffende vertikale Luftstrom durch starre Wände, etwa nach Art von Fig. 33, vollständig von seiner Umgebung abgeschnitten sein. Strenge genommen wird ein isoliertes Luftquantum, welches innerhalb der sonst ruhenden Atmosphäre sich auf- und abwärts bewegt, seine Temperaturänderung nicht in der einfachen Weise vollziehen, wie wir es soeben darlegten, sondern es wird sein Wärmezustand mit der vertikalen Temperaturverteilung in der ruhenden Atmosphäre beständig variieren.*) Nach einer anderen Seite werden wir die Normen der Temperaturveränderung mit der Höhe später im klimatologischen Abschnitte zu würdigen haben.

Schon jetzt wollen wir bemerken, dass diese Regel einer Temperaturabnahme mit der Höhe ebensowenig ohne Ausnahme gilt wie irgend eine andere der Meteorologie. Nahe am Boden zeigt sich sogar, wie Beobachtungen von Six, Main, Glaisher, Wild, Scott, Dines und Symons ausser allen Zweifel setzen, sehr häufig gerade das Umgekehrte, und bei schönem Wetter pflegt es oben an einer Turmspitze um zwei bis drei Grade wärmer zu sein als unten am Fusse des Turmes.

Mit der Temperaturabnahme steht selbstverständlich der Gleichgewichtszustand der Luft in innigster Beziehung, doch ist dabei wohl zwischen trockener und feuchter Luft zu unterscheiden. Bekanntlich kennt die Mechanik dreierlei Gleichgewichtszustände, den indifferenten, stabilen und labilen.**) Da hat denn nun Sprung für trockene Luft den folgenden Satz entwickelt***): Der Gleichgewichtszustand der Atmosphäre ist solange ein indifferenter, als die Temperatur in vertikaler Richtung um die uns bereits bekannten 0,993⁰ für 100 m abnimmt†), er ist ein stabiler, wenn dieser Betrag der Temperaturabnahme nicht erreicht, er ist endlich ein labiler, wenn der Betrag überschritten wird. Zu der letzteren Klasse gehört der wohl seltene aber

*) Sprung, S. 166.

**) Man erläutert sich das Wesen dieser drei Gleichgewichtsformen am besten an dem Bilde eines parallelepipedischen Stabes, der um eine horizontal durchgesteckte Achse drehbar ist. Wenn diese Achse durch den Schwerpunkt geht, so kann man der Längsachse des Stabes eine beliebige Neigung gegen den Horizont erteilen, und der Stab bleibt in dieser indifferenten Gleichgewichtsstellung in Ruhe; liegt der Schwerpunkt unter dem Durchstossungspunkte, so bleibt der Stab, den man aus seiner Lage gebracht hat, nach einigen Pendelschwingungen ruhig hängen, das Gleichgewicht ist stabil, und wenn wir endlich das labile Gleichgewicht haben wollen, müssen wir es so einrichten, dass die Achse unterhalb des Schwerpunktes den Körper durchdringe.

***) Sprung, S. 170.

†) Eigentlich müsste diese Zahl 0,993 noch mit einem für verschiedene Punkte der Erdoberfläche auch ungleich grossen Bruche multipliziert werden, dessen Wert jedoch zum Glücke zwischen sehr engen Grenzen schwankt. Im

doch keineswegs unmögliche Fall, dass die Dichte einer Luftschicht, diese von zwei Niveauflächen eingeschlossen gedacht, an der unteren Grenzfläche kleiner ist als an der oberen. Die geringste Störung, durch welche die Fläche ihren horizontalen Charakter für einen Augenblick einbüsst, bringt ebenso eine radikale Überführung des labilen Zustandes in den stabilen durch Umlagerung der beiden Flüssigkeiten zuwege, wie dies auch geschähe, wenn Wasser und Öl in einem Gefässe geschichtet wären und alsdann an letzterem auch nur leise gerüttelt würde. Verwickelter gestalten sich natürlich die Dinge, wenn die Luft feucht ist, sei es, dass sie bereits mit Wasserdampf gesättigt wäre oder noch nicht; auch für diese Möglichkeiten sind auf grund älterer Vorarbeiten von Poisson und Regnault durch Sprung*) Gesetze aufgestellt worden, allein dieselben lassen sich nicht wohl durch Worte sondern nur eben durch die analysische Formelsprache ausdrücken, und so müssen wir denn auf ihre Wiedergabe verzichten.

Wie ungemein wichtig aber diese Betrachtungen immerhin sind, leuchtet sofort ein, wenn man sich vergegenwärtigt, dass mit ihrer Hilfe sich für die wichtigsten Fragen der Meteorologie die Antwort finden lässt, z. B. die nachstehende: In welcher Höhe beginnt beim aufsteigenden Luftstrome die von der Kondensation des Wasserdampfes abhängige Wolkenbildung, und wie hoch muss sich über diesen Punkt die Luft noch in vertikaler Richtung erheben, damit die Abkühlung den Gefrierpunkt des Wassers erreiche? Allerdings erfordert die Lösung dieser Aufgabe noch immer mühsame Rechnungen, allein die Grundlage ist doch eine gesicherte, und zudem hat Hertz eine Kurventafel konstruiert, welche es ermöglicht, auf graphischem Wege die verschiedenen adiabatischen Zustandsänderungen zu verfolgen. Mit jenem Kunstworte charakterisiert man den besonderen Fall, dass einem Gase weder Wärme zugeführt noch auch solche entzogen wird. Noch umfassender erörtert die Sache v. Bezolds akademische Abhandlung „Zur Thermodynamik der Atmosphaere“ (Berlin 1888).

Nachdem wir so gewisse allgemeine Gesichtspunkte für die Bewegung und Temperaturänderung der Luft in der Richtung eines Erdradius gewonnen haben, fühlen wir uns befähigt, an die Erörterung eines speziellen Problemes von grosser Tragweite heranzutreten, nämlich an das in der Existenz der sogenannten Fallwinde von der Natur selbst uns aufgegebene Problem. Schon dem Altertum war die Eigenart der Luftbewegung aufgefallen, welche beim plötzlichen Abstürzen einer Luftmasse von der Höhe eines Berges eintritt, und die Griechen hatten, wie wir aus dem Fragmente des Theophrast „Von den Winden“ ersehen, für solche Fallwinde auch eine eigene Bezeichnung (*καταιγίδες*). Man wusste, dass ein solcher Wind im Lande der Kolchier vom benachbarten Kaukasus herabbrause, und in der That ist in unseren Tagen auf das Vorhandensein dieses merkwürdigen Lokalwindes von neuem durch v. Wrangel aufmerksam gemacht worden, man kannte den

Zähler dieses Bruches steht die uns bereits bekannte Fallkonstante des betreffenden Ortes, im Nenner diese nämliche Fallkonstante mit dem Werte, den sie gerade unter 45° geographischer Breite besitzt.

*) Sprung, S. 173. S. 176.

Pagreus am Taurusgebirge Ciliciens, den Idyreus Pamphiliens, den aus der Apostelgeschichte bekannten kretischen Euryklydon und andere in plötzlich sich äussernden Stössen für Schiffer und Landreisende gefährliche Fallwinde am Vorgebirge Malea, am Parnass, am Kithaeron und ganz besonders am skironischen Felsen bei Megara*); ja auch fönartige Winde traten am malischen Meerbusen, am pierischen Ufersaume nahe dem Olymp, in den Ebenen von Pharsalus und Kopais auf und reizten den feinsinnigen Theophrast zu Erklärungsversuchen an, welchen wir für jene Zeit unsere Achtung wahrlich nicht versagen dürfen. Als aber das geographische Wissen der Alten nach und nach das ganze Becken des mittelländischen Meeres zu umspannen begann, lernte man zwei für die von ihnen beherrschten Gegenden charakteristische Fallwinde kennen: den von den Alpenkämmen der Dauphinée in die „französische Sahara"**) niederbrausenden Mistral und die selbst heute noch berüchtigte Bora***) der istrisch-dalmatischen Küstenländer, welch letztere in der älteren Zeit des Lastwagentransportes den Verkehr zwischen Fiume und Triest oft auf Wochen zu unterbrechen vermochte und auch gegenwärtig noch die Strassen der letztgenannten Stadt derart abfegt, dass nachher ähnliche Vorkehrungen wie gegen Glatteis getroffen werden müssen. Das Wesen der dem Bora-Typus angehörigen Fallwinde soll zunächst in Untersuchung gezogen werden.

Einen Fingerzeig hiefür gibt uns die für das schwarze wie für das adriatische Meer gleichmässig festgestellte Thatsache, dass die Bora nur in unmittelbarer Nähe der Gebirgskämme ihre Kraft entfaltet, weiter landeinwärts auf der Hochfläche aber nur als ein gewöhnlicher Wind von nicht besonders auffallender Stärke sich manifestiert. Wenn sonach der Allgemeincharakter des Wetters der der Heiterkeit und Stille ist, so sammeln sich zumal im Winter auf dem Plateau, geschützt durch das Küstengebirge, beträchtliche kalte Luftmassen. An der vom Meere entfernten Seite des Plateaus wird der Luftdruck natürlich sich nicht immer gleich bleiben: sinkt er unter jenes Mass des Druckes, welches oben auf der Hochfläche das herrschende ist, so wird die Luft dem barischen Grundgesetze zufolge langsam gegen das Hinterland hin abfliessen; wenn dagegen eben über diesem Hinterlande der Luftdruck der stärkere ist, so muss sich die atmosphärische Bewegung in der umgekehrten Richtung vollziehen, und es wird so die kalte Luft teilweise über den Kamm des Gebirges weggeschoben. Man sieht sofort, dass der barometrische Gradient sowohl in vertikaler wie auch in horizontaler Richtung ein sehr grosser sein muss, es wird also die abgedrängte kalte Luft, die ein grösseres spezifisches Gewicht besitzt, mit bedeutender Energie in die direkt über dem Meere lagernde feuchte und wärmere Luft hinabstürzen,

*) Sehr genaue Aufschlüsse über kalte und warme Fallwinde in Hellas und Kleinasien gewährt das Werk: Neumann-Partsch, Physikalische Geographie von Griechenland, Breslau 1885. S. 90 ff.

**) Mit obigem Namen bezeichnet man in der Provence die Ebene Crau, zu deren Öde und Sterilität eben das regelmässige Wehen des Mistral das seinige beigetragen zu haben scheint.

***) Das Wort „Bora" ist eine slavische Lokalbezeichnung und hat mit „Boreas", an den sich einige Etymologen erinnert fühlten, nicht das allermindeste zu thun.

und es muss der Eindruck eines Fallwindes auch bei dem des wahren Herganges Unkundigen im vollsten Masse hervorgerufen werden. Dabei können die statischen Verhältnisse der von der Invasion betroffenen Luft ganz normale sein, aber freilich wird die Grösse des vertikalen Gradienten und folgeweise auch die Energie des Absturzes sich noch verstärken, wenn zufällig gerade über der See eine barometrische Depression befindlich ist. Die Bora ist ebenso wie jede der zu ihrem Typus gehörigen Luftströmungen ein kalter Wind, und es lässt sich auch in Zahlen die Bedingung angeben, welche erfüllt sein muss, damit der Fallwind diese seine Eigenschaft beibehält.*) Neben diesen kalten gibt es auch warme Fallwinde; dieselben bilden eine selbständige, wennschon natürlich mit der vorbeschriebenen nahe verwandte Gruppe, sie gehören dem Fön-Typus an.

Dem Fönwinde**) müssen wir eine eingehendere Beachtung schenken. Ursprünglich sind es fast allein die Kantone der Urschweiz, Uri, Schwyz, Unterwalden, Glarus gewesen, in denen man vom Fönwinde Notiz zu nehmen sich gezwungen sah, mehr und mehr aber musste man sich überzeugen, dass man es hier mit einer die gesamte Alpenwelt und deren Vorlande in ihr Machtbereich einbeziehenden Erscheinung zu thun habe. Ganz Württemberg südlich der Donau und das eigentliche Bayern wissen von dem Wehen und unter Umständen sogar von dem Wüten des Fönsturmes zu berichten, auch im nördlichen Schwaben wie in Franken macht sich derselbe noch bemerklich, so dass der alpine Fön (s. u.) erst am Maine endgiltig seinen Tummelplatz beschränkt sieht. In verschiedenen Alpenthälern herrscht der Fön als ein mehr lokales Phaenomen, so im Bergell, im Längsthale der Kärntner Drau, wo er als „Jauck“ bekannt ist, und im Montavon, woselbst er sogar in einer sehr typischen, von Hann näher aufgeklärten Form auftritt. Früher nahm man an, man habe es mit einem südlichen, auf gewissen regelmässigen Zugstrassen die Alpenkette überschreitenden Winde zu thun, allein mit dieser schematischen, leider auch noch aus neueren Publikationen (s. o.) nicht gänzlich verbannten Vorstellung musste eine rationelle Physik der Atmosphäre gänzlich brechen: ein Fön kann überall entstehen, wo die Verhältnisse der Gradienten seinem Zustandekommen günstig gelagert sind, und selbst der Südfuss der Alpen kann, was die ältere Theorie für undenkbar erklärt haben würde, seinen Fönwind haben. Dass in Griechenland schon vor zweitausend Jahren Fönwinde bemerkt und als etwas besonderes, von anders gearteten Winden verschiedenes erkannt wurden, haben wir oben gesehen. Assmann zeigte, dass gewisse Lokal-

*) Sprung, S. 189.

**) Gute Belehrung über das Fönphaenomen gewähren neben den Werken von Sprung und Hann hauptsächlich die folgenden beiden Schriften: Wettstein, Die Strömungen des Festen, Flüssigen und Gasförmigen, Zürich 1880; Berndt, Der Föhn, ein Beitrag zur orographischen Meteorologie und komparativen Klimatologie, Göttingen 1886. Letzteres Werk ist als Materialiensammlung schätzbar, mag auch mit Hann gegen manche Einzelauffassung Verwahrung einzulegen sein. Wettstein plaidiert für die Schreibweise „Fön“, Berndt (S. 2) für die Schreibart „Föhn“; wir selbst haben dem Schweizer folgen zu sollen geglaubt. — Den modernen Standpunkt vertreten: H. Meyer, Über Fallwinde, Wetter, IV. S. 241 ff.; Erk, Der Föhn, eine meteorologische Skizze, München 1888.

winde des Thüringerwaldes den Stempel des Fönwindes tragen, und selbst den Polarländern fehlt derselbe nicht: Hoffmeyer hat sein Wehen in Grönland nachgewiesen, Peter Vogel konstatierte ein gleiches für Süd-Georgien, wo Deutschland (an der Grenze des südlichen Eismeeres) seine Beobachtungsstation etabliert hatte, Harrington führte die „heissen Winde“ der chilenisch-argentinischen Andenpässe auf die gleiche Ursache zurück.

Kommender Fön kündigt sich meist schon im voraus durch gewisse Vorzeichen an, welche der kundige Meteorologe zu deuten weiss. Die Zirruswolken, deren Bedeutung für die Vorausbestimmung der Witterung überhaupt in unseren Tagen erst so recht anerkannt worden ist, gewinnen ein eigentümliches Aussehen, welches der Schweizer bezeichnend „Föngewölke“ nennt; das ganze Firmament erscheint mit einem dünnen Florschleier (dem „Cilbi“ der Graubündner) überzogen, während die in sehr grosser Höhe über dem Erdboden dahinziehenden Federwölkchen ein sonderbar zerzupftes Aussehen bekommen. Wenn der Fön, wie häufig, erst einen ihm entgegenkommenden Luftstrom zu bekämpfen hat, so bilden sich meridionale Wolkenstreifen („Windbäume“ oder „Windstreifen“), welche oft lange Zeit, ja mehrere Tage lang, unverändert am Himmelsgewölbe stehen bleiben. Das Barometer beginnt zu fallen, erst langsam, dann aber immer energischer, während die Farbe des Himmels in ein trübes Graublau übergeht und die Temperatur eine schwülere wird. Am Hygrometer konstatiert man eine jähe Abnahme der relativen Feuchtigkeit, das Holzwerk der Häuser und Hausgeräthe trocknet so stark aus, dass sich Risse zeigen, und es ist deshalb auch die Gefahr verheerender Feuersbrünste in den vom Fön betroffenen Gegenden eine sehr erhöhte.*) Elektrische Entladungen pflegen dem Fön nicht voraufzugehen, wiewohl verschiedene Beobachter von heftigem Wetterleuchten zu berichten wissen. Der Durchsichtigkeitsgrad der Luft, der erwähntermassen im ersten Stadium gering war, wird jetzt ein höherer, die Konturen der Berge zeichnen sich scharf ab, finsteres Gewölke (die „Fönmauern“) grenzt sich oberhalb der Gebirgshäupter gegen den mattglänzenden Himmel ab, und die blutrote Sonne kann, wie beim Herrschen des Moorrauches, mit unbewaffnetem Auge angeblickt werden. Aus der Gegend, woher der Sturm zu erwarten ist, dringt ein warmer Hauch, der zuerst noch mit kälteren Luftströmungen wechselt, dann aber immer heisser und so zu dem „Schneefresser“ wird, als welchen ihn die Alpenvölker kennen. Endlich wächst der rasche Luftzug zum Sturme an, der verheerend durch das Thal braust, Lawinenstürze und Überschwemmungen entfesselt, aber trotzdem nicht selten von den Bergbewohnern gerne gesehen wird, weil er das Land mit einem Schlage aus dem Winter in den Frühling versetzt. Vielfach wird auch von akustischen Erscheinungen berichtet, welche der Fön im Gefolge habe, doch erscheint es uns zur Zeit bedenklich, die mancherlei Angaben der schweizerischen Volksphysik über Detonationen bei ruhiger Luft als einen passenden Gegenstand für exakte Erklärung zu behandeln.

*) Ein Polizeistatut der Zentralschweiz schreibt das Löschen von Feuer und Licht beim Nahen des Föns vor. Auf Nichtachtung dieser Norm ist das bekannte Brandunglück des Fleckens Glarus zurückzuführen.

Wie man sich in früherer Zeit die Entstehung des Fönwindes dachte, haben wir bereits weiter oben gesehen, wo zugleich durch eine einfache Betrachtung der Trägheitsbahn der Nachweis für die Unrichtigkeit der von Desor und Escher v. d. Linth aufgestellten Theorie erbracht werden konnte. Eine wesentlich andere, mit den Grundsätzen der modernen Meteorologie in völligem Einklang stehende Auffassung ist diejenige, welcher Hann gleich zu Anfang seines wissenschaftlichen Wirkens die Bahn brach, welche aber, wennschon mit weit geringerer Bestimmtheit, noch früher von Espy und Helmholtz angedeutet worden war. Hann konnte mit Rücksicht auf eine längere Beobachtungsreihe von Bludenz (Vorarlberg, am Eingange ins Montavon) überzeugend darthun, dass jene ungewöhnliche Temperaturerhöhung, welche der Fön zuwege bringt, nur in unmittelbarer Nähe des gerade vom Fön beherrschten Gebietes sich bemerklich macht und weit davon entfernt ist, innerhalb eines grösseren Teiles der Alpenländer verspürt zu werden. Damit ist denn die Schwierigkeit beseitigt, welche man früher tief empfand, und welche noch in Wilds Schrift „Der Schweizer Föhn“ (Bern 1868) als eigentlicher Kernpunkt des ganzen Problemes hingestellt wird: Wie wird der von Süden her über die Kämme des Gebirges hinstreichende Wind zum Herabsteigen in die Thäler gezwungen? Wild dachte an eine saugende Wirkung, an eine Aspiration ähnlich derjenigen, welche beim Giffardschen Dampfmaschinen-Injektor und bei Wiebels Luftpumpe*) zur praktischen Verwendung kommt. Sowenig zu leugnen ist, dass diese Anschauung mit anerkannten physikalischen Gesetzen harmoniert, so brauchen wir doch die Hypothese gar nicht, da eben die Luftströmung nicht die Kammlinie passiert, wie man bisher allseitig annahm, sondern da sie von der Kammlinie selbst ihren Ausgang nimmt.

Nach Hann haben wir uns mithin die Bildung eines Fönsturmes so zu denken, dass von der einen Seite des Gebirges vollkommen abgesehen wird. Nördlich von den Alpen, und zwar gewöhnlich in einer aus dem biscayischen Meerbusen nordwärts gezogenen Linie bilden sich barometrische Minima, welche nach dem Buys-Ballotschen Gesetze als asymptotische Zentra einer Zyklonalbewegung anzusehen sind. Zunächst wird die über Frankreich und Deutschland lagernde Luft in eine erst nördlich und dann westlich gerichtete Bewegung hineingerissen, und an dieser Bewegung müssen, wenn nur jenes Minimum ziemlich stabil bleibt, allmählig auch die Luftpartien jenes Teiles von Europa teil nehmen, welcher sich südlich von Mitteleuropa ausbreitet, d. h. eben der Alpenländer. Die bisher oberhalb der Alpengipfel in relativer Ruhe lagernde Luft fliesst nach Norden, beziehungsweise Nordwesten ab und

*) Diese Pumpe besteht einfach in einem Metallrohre, welches in vertikaler Richtung von Wasser durchflossen werden kann, und mit welchem der Evakuationsraum durch ein kurzes Seitenrohr in Verbindung steht. Ein Hahn schliesst das erstgenannte Rohr vorläufig noch von der Wasserleitung ab, an welche jenes angeschraubt ist; sobald jedoch der Hahn geöffnet und das Wasser ins Strömen gelangt ist, beginnt dieser Strom bald auch Luftpartikelchen aus dem Seitenrohre mit sich fortzureissen, und die Entleerung des Rezipienten von Luft wird solchergestalt gründlicher besorgt, als es in gleicher Zeit durch eine Guerickesche Luftpumpe hätte geschehen können.

stürzt sich hiebei ganz von selber, ohne dass an eine besondere Brandungsbewegung gedacht zu werden braucht, in die Thäler und Schluchten herab. Der Fön ist also auch ein Fallwind, nur wird er, im Gegensatz zur Bora, nicht von oben nach unten *geschoben*, sondern direkt nach unten *gezogen*, und bei seinem Falle erwärmt er sich, wodurch ein weiterer Unterschied zwischen Fön- und Bora-Typus angezeigt wird. Die höhere Temperatur der im Thale anlangenden Luftmassen ist eine direkte Konsequenz der Bewegung. Die Luftmasse wird, indem sie sich in engeren Grenzen als früher bewegen muss, erheblich verkleinert, ein beträchtliches Quantum Bewegungsenergie wird hiebei anscheinend vernichtet, thatsächlich aber in Molekulararbeit umgesetzt, und diese wieder kann sich nur dadurch offenbaren, dass die Temperatur steigt. Indem *Hann* auf grund dieser Annahme den Wert des sogenannten mechanischen Wärme-Aequivalentes berechnete, fand er eine mit der *Joule*schen Konstante sich sehr gut vertragende Zahl (433 Kilogrammeter). Was die grosse Trockenheit des Föns anlangt, so ist auch diese verständlich, sobald man nur daran festhält, dass diese erst nach und nach ihre vorbesprochene Höhe erreicht und zwar gewöhnlich erst dann, wenn auch die jenseits der Berge befindliche Luft die Bewegung mitzumachen sich anschickt. Denn obwohl wir daran festhalten müssen, dass die Auslösung des Fönphänomenes ohne jede Mitwirkung dieser jenseitigen Luft sich vollzieht, so muss doch andererseits, sobald die über den Gipfeln lagernde Atmosphäre ins Herabsinken gerät, die Luft an der Rücklehne der Berge in die Höhe steigen, die Gipfel wirken in gewohnter Weise als Kondensatoren, entziehen der Luft ihren in Form gewaltiger Regengüsse sich ausscheidenden Wasserdampf und entlassen erstere in sehr trockenem Zustande. In diesem beteiligt nun auch diese von jenseits der Bergkette gekommene Luft sich am Abstiege, und sie ist es, welche dem Fön seinen bezeichnenden Charakter als *trockener, heisser Sturmwind* aufprägt. Wenn diese Darlegung des ganzen Vorganges das richtige trifft, so können die Regenfälle auf dem jenseitigen Abhang dem ersten Eintritte des Föns auf der diesseitigen nicht der Zeit nach vorausgehen, sie müssen ihm vielmehr nachfolgen, wie dies denn auch durch Beobachtungen von *Dufour* bestätigt zu werden scheint. Wir fügen noch hinzu, dass ausser *Hann* auch noch ein mit Örtlichkeit und Umständen so gut vertrauter Meteorologe wie *Billwiller* in Zürich sich für diese hier freilich nur im Umrisse auseinandergesetzte Theorie entschied und zu ihren gunsten diejenige von *Hébert-Faye* bekämpfte, welche die Entstehung besonderer Wirbel am Alpenkamme mit niedergehender Achsialbewegung angenommen haben will.

Wenn eine Depression im Westen des mittleren Europa die Luftbewegung beherrscht, so ist stets mit Wahrscheinlichkeit auf einen Fön zu rechnen, doch können natürlich auch Umstände obwalten, durch welche der Entstehung eines solchen entgegengewirkt wird. Ebenso kann ein Fön von kleinen Dimensionen und beschränkter Wirkungssphäre beobachtet werden, wenn das Depressionszentrum nicht gerade auf der oben bezeichneten Linie, sondern irgendwo anders auf der Nordseite der Alpen sich gebildet hat, ja es wäre sogar, wie erwähnt, nicht einmal abzusehen, warum nicht auch am Südfusse sich etwas ähnliches

BAYERISCHE STAATS-BIBLIOTHEK MUENCHEN

ereignen sollte. Gesetzt, in Nord- und Mitteleuropa sei gerade kein ausgesprochenes Minimum vorhanden, die Isobaren seien regelmässige, weit auseinander liegende Linien mit geringen Gradienten, oberhalb des Alpenlandes befinde sich gleichfalls die Atmosphäre in Stagnation, und nur über der lombardischen Tiefebene erhebe sich ein aufsteigender Luftstrom unter dem Einflusse lokaler Erhitzung: dann mag sehr wohl in den tiefen, fjordähnlichen Thälern der oberitalienischen Seen ein dem Fön ähnlicher und auch wirklich auf analoge Weise ins Leben gerufener Wind sich geltend machen können. Ja nach den sehr sorgfältigen Untersuchungen Erks, der sich die Manifestationen des Föns im bayerischen Flachlande zum besonderen Forschungsobjekte ausersehen hat, muss man sogar annehmen, dass hart am Nordfusse der Alpen sich mitunter Zyklonalwinde von äusserst geringer Ausdehnung bilden, die dann auch wieder ihren partiellen Fön hervorbringen, ohne dass die etwas weiter in der Ebene gelegenen Städte von diesem betroffen, ja selbst nur auf ihn aufmerksam würden. In dem Masse als die Erkenntnis, dass der Fön kein spezieller Angehöriger der Westalpen, sondern ein gemeinsames Erzeugnis der allgemeinen Wetterlage und der Ortsbeschaffenheit sei, weiter um sich greift, werden wir von immer mehr Gegenden Nachrichten über Winde erhalten, welche sich ungezwungen den warmen Fallwinden, dem „Fön-Typus“, einreihen lassen.

Es wäre, wenn hier nicht die dynamische Meteorologie als solche sondern die Erörterung eines einzelnen, an sich freilich überaus interessanten Problemes auf unserer Tagesordnung stände, noch sehr vieles über den Fön zu sagen. Wir begnügen uns jedoch mit einer summarischen Aufzählung gewisser Begleitumstände*) und fahren in unserer eigentlichen Aufgabe fort. Die zweifellos wichtigste Ursache aller atmosphärischen Bewegungen, das Vorhandensein von Wärmedifferenzen, haben wir näher betrachtet; es fragt sich jetzt, ob nicht auch elektrische Spannungen und die Aktion der Himmels-

*) Die Intensität eines Fönsturmes ist natürlich je nach der Fallhöhe, welche die Luft bereits gehabt hat, verschieden, am grössten also in den Niederungen. Dass er starke Bäume zu entwurzeln vermag, ist eine bekannte Sache und zum Überflusse durch die sorgfältig von Louis Dufour über den Fön vom 23. September 1866 gesammelten Nachrichten erhärtet. Besonders schlimm wütet derselbe mitunter in den Engen des Haslithales und am See von Brienz. Doch sind meistenteils die einzelnen vehementen Stösse von einander durch eine Periode der Windstille geschieden, was vielleicht mit dem Vorüberzuge sekundärer Depressionen zusammenhängt. Gar nicht selten wird auch der Fönstaub wahrgenommen; d. h. es ist während der Dauer des Sturmes die Luft mit kleinen Körperchen angefüllt, welche zur Bildung eines sogenannten trockenen Nebels (s. o.) den Anlass geben, schliesslich aber zur Erde gelangen und nach Ehrenbergs mikroskopischer Prüfung, die freilich nicht einwurfsfrei geblieben ist, auf eine oft exotische Abstammung schliessen lassen sollen. Ein Gewitter ist nicht notwendig mit dem Fön verbunden; wenn aber, dann ist die Entladung eine aussergewöhnlich heftige, wie dies u. a. von Heim, der auf dem Mythen von einem solchen Föngewitter überrascht ward, bezeugt worden ist. Dagegen sind die Berichte über ein Unruhigwerden der erdmagnetischen Instrumente noch zu vereinzelt, um zu weiteren Folgerungen zu berechtigen, und ebensowenig können wir uns, solange nicht ein ganz ungleich ausgiebigeres Thatsachenmaterial zur Stelle sein wird, dazu entschliessen, mit Volger den Fön als Vorboten von Erderschütterungen anzusprechen.

körper den Bewegungszustand der Atmosphäre nachhaltig zu beeinflussen imstande sind. Zunächst soll uns deshalb die Lehre von der atmosphärischen Elektrizität beschäftigen.

Dass in der Luft stets Elektrizität vorhanden ist, kann als eine durch die an den verschiedensten Stellen der Erde aufgestellten Messapparate verbürgte Thatsache gelten.**) Die Grösse der Spannung durch genaue elektrometrische Messungen zu bestimmen ist allerdings weit schwieriger als die blosse Konstatierung ihres Daseins mittelst empfindlicher Elektroskope, und obwohl seit Franklins Zeit verschiedene Forscher von Ruf, unter denen wir nur Kämtz, Peltier und vor allem Dellmann namhaft machen wollen, an der Verfeinerung der Instrumente und Messungsmethoden gearbeitet haben, war gleichwohl bis in die neueste Zeit herein von wirklicher Exaktheit der Beobachtungen keine Rede. Ein gewöhnliches, im Laboratorium seinen Dienst voll und ganz erfüllendes Elektrometer zeigt eben in freier Luft deren Spannung ebensowenig genau an, wie dies hinsichtlich der Temperatur durch ein willkürlich und ohne besondere Vorsichtsmassregeln aufgehängtes Thermometer (s. o.) geschieht; dieser Bemerkung Charles Dufours wird heutzutage wohl allgemein zugestimmt werden. Der genial erscheinende Gedanke William Thomsons, die Luftelektrizität durch den Strahl eines kleinen Springbrunnens aufsaugen, von jenem auf einen Metallbecher übertragen zu lassen und an der Wandung des letzteren zu messen, erwies sich deswegen als schwer realisierbar, weil die Grösse der in der Zwischenzeit eingetretenen Elektrizitätsverluste sich jeder Schätzung entzog. Ganz aus diesem Grunde möchte Pellats Bestimmung des elektrischen Luftpotentiales durch eine isolierte Gasflamme zu beanstanden sein; die Bewegung der Flamme sollte sich momentan auf die Nadel eines mit ersterer verbundenen Galvanometers übertragen, und deren Schwankung hätte unmittelbar die Schwankungen in der Grösse der Spannung zu registrieren. Wie es uns scheint, meidet die zahlreichen Klippen, welche bei luftelektrischen Versuchen sich unangenehm bemerklich machen, noch am besten das von Palmieri jüngst in einer besonderen Schrift*) beschriebene Ausschlagselektrometer, welches im wesentlichen nach dem Prinzipe der Coulombschen Drehwage konstruirt ist. Eine Auffangstange kann durch eine Kulissenführung in diejenige Luftschicht emporgehoben werden, deren elektrische Spannung man kennen zu lernen wünscht, und sobald sie eine Weile daselbst in Ruhe geblieben, fällt sie mit grosser Geschwindigkeit in ihre Anfangsstellung zurück und gibt ihre Elektrizität an den Balken der Wage ab, welcher um einen bestimmten Bogen abgelenkt wird. Aus der Grösse dieses Bogens lässt sich nach einer von Battaglini gegebenen Formel das gesuchte Potential berechnen.

*) Bessels allerdings glaubt sich überzeugt halten zu dürfen, dass da, wo Halls berühmte (verunglückte) Polaris-Expedition ihr Winterquartier aufgeschlagen hatte, die Atmosphäre vollständig frei von Elektrizität war, wenn auch nicht immer, so doch an den meisten Tagen. Allein diese Beobachtung ist isoliert geblieben, und möglicherweise waren auch die Elektroskope, welche die „Polaris“ mit hatte, nicht empfindlich genug.

**) Palmieri, Die atmosphärische Elektrizität, deutsch von Discher, Wien-Leipzig 1884.

Das Vorzeichen der Luftelektrizität ist bei heiterer Luft fast immer das positive, bei starkem Winde pflegt die Spannung zuzunehmen. Nebel und Wolken sind ebenfalls gewöhnlich positiv elektrisch, jedoch nicht immer, denn nach Schübler ist wenigstens im Hochgebirge die Elektrizität der Wolken stets dann die negative, wenn jene sich demnächst in Regen verwandeln wollen. Palmieri fand durch seine zahlreichen Beobachtungen in der grossen Mehrzahl der Fälle ein Gesetz bestätigt, welches man folgendermassen formulieren kann. Wo Regen fällt, ist positive Elektrizität, und zwar in ziemlicher Menge vorhanden, um die Regenzone aber legt sich ein Kreisring von variabler Breite, innerhalb dessen die Elektrizität negativ ist. Auf diese Zone folgt dann ringsum wieder eine mit positiver Elektrizität ausgestattete Region, so jedoch, dass der Spannungsgrad mit wachsender Entfernung vom Platze des Regenfalles sich rasch verkleinert. Wenn man ohne besondere Veranlassung die positive Elektrizität des Beobachtungsortes rasch ihr Zeichen wechseln sieht, so ist nach Palmieri die Ursache dieser ungewöhnlichen Änderung eine nicht allzuweit vom Orte vor sich gehende Ausscheidung von Wasserdampf in der Gestalt von Regen, Schnee oder Hagel, mag auch die Regenwolke sich unter dem Gesichtskreise befinden. Im Winter ist die Elektrizitätsentwicklung der Luft eine stärkere als im Sommer, und auch bei vertikaler Erhebung über die Erde wird ein Zunehmen der Spannung wahrgenommen.*)

Über die wahre Entstehungsursache der atmosphärischen Elektrizität herrscht nichts weniger als Einstimmigkeit unter den Fachmännern; Jordan und E. Hoppe haben sich dadurch ein entschiedenes Verdienst erworben, dass sie in den ihre eigenen Ideen über das Phaenomen enthaltenen Arbeiten**) zugleich eine vergleichende Kritik älterer und neuerer Erklärungsversuche unterbrachten. Wir sehen uns so instandgesetzt, ziemlich vollständig über die verschiedenen Hypothesen zu referieren, welche seit dem grossartigen Aufschwunge der Elektrizitätslehre, d. h. seit den dreissiger Jahren des vorigen Jahrhunderts, das Feld vorübergehend oder für längere Zeit beherrscht hatten. Canton fasste die Luftelektrizität als einen pyroelektrischen Vorgang auf, Nollet dachte sich dieselbe durch die Reibung der bewegten Luft an der Erdoberfläche entstanden, allein er übersah dabei, dass gerade bei klarem Himmel und starkem Winde die atmosphärische Elektrizität auf einen Minimalbetrag herabsinkt. Auf einem höheren Standpunkte steht Beccarias damals rasch berühmt gewordenes Werk,***) worin die

*) Von Saussure wurde entdeckt und von Palmieri bestätigt, dass die Luftelektrizität eine regelmässige tägliche Periode einhält und im Verlaufe eines Tages zwei Maxima und zwei Minima ihrer Spannung erkennen lässt. Da diese Extreme ziemlich genau auf dieselben Tageszeiten fallen, wie die entsprechenden Extreme des Luftdruckes, so sprach Ragona die Meinung aus, die Zunahme der elektrischen Spannung vergrössere gleichzeitig die Elastizität der Luft. Wäre diese Meinung begründet, so wäre die Luftelektrizität für die Lehre von den atmosphärischen Veränderungen noch von weit höherer Bedeutung, als dies ohnehin zuzugeben ist, doch sprechen gegen die Billigung ersterer (s. Sprung, a. a. O., S. 364) gewichtige Gründe.

**) Man findet diese Arbeiten wenigstens teilweise im 2. Jahrgange der „Meteorol. Zeitschrift“ vor.

***) Beccaria, Dell' elettricità terrestre atmosferica a cielo sereno, Turin 1775.

Wahrheit ausgesprochen wird, dass bei ganz trockener Luft nur sehr wenig Elektrizität bemerkt werde, dass aber Dünste und ganz besonders Staubbeimischung die elektrische Spannung steigerten. Die Vermutung, dass die bedeutendste Elektrizitätsquelle im Verdampfungsprozess zu suchen sei, eine bis zum heutigen Tage noch nicht von allen Seiten aufgegebene Vermutung, sprachen ziemlich gleichzeitig Volta, Lavoisier und Laplace aus, und als beweiskräftigstes Experiment wurde die Verdampfung von Wasser in einem Metallgefässe bezeichnet, denn allerdings wurde hiebei das Gefäss negativ und der aufsteigende Dampf positiv elektrisch. Zu denjenigen Gelehrten, welche diesen Versuch manigfaltig variierten und ihn zum „Experimentum crucis" der neuen Theorie zu erheben suchten, gehörte der uns nun schon zu wiederholten malen begegnete Saussure. Dessen Landsmann Colladon dagegen verglich die Luftelektrizität mit jenem schwachen Elektromagnetismus, welcher bei der Entladung einer Batterie in der Nähe eines Magneten zum Vorscheine kommt. Dann griff Pouillet auf den Versuch von Lavoisier zurück, interpretierte denselben aber in anderem Sinne, indem er nicht die Änderung des Aggregatzustandes sondern den Akt der Trennung des Wasser als das eigentliche Agens betrachtet wissen wollte. Gleichzeitig stellte Peltier die Behauptung auf, dass die Vegetation Elektrizität in der Luft erzeuge. Die Hypothesen beider zuletzt genannter französischer Forscher fanden eine endgiltige Wiederlegung in dem klassischen Werke von Riess („Reibungselektrizität"), und obwohl allerdings die bekannte Erfahruug Armstrongs, dass bei gleichzeitiger Berührung eines Ventiles und des daraus abströmenden Dampfes ein elektrischer Schlag erteilt werde, der Verdampfungshypothese zu neuem Leben verhelfen zu wollen schien, so schuf doch bald Faraday Wandel durch den Nachweis, dass die Elektrizität hier einzig und allein durch die Reibung der vom Dampfe mit fortgerissenen Flüssigkeitsteilchen entstehe. An eine ausserirdische Kraftquelle ist ebenfalls gedacht worden; Zöllner und Werner Siemens formulierten in grossen Zügen und mit jener geistvollen Gesamtauffassung, welche sämtliche Arbeiten dieser beiden Männer auszeichnet, die Lehre vom elektrischen Sonnenpotential, welches auf unsere Erde und die sie umgebende Lufthülle durch Influenz einwirke.*) Schwierig ist es nur, darin hat Hoppe unzweifelhaft Recht, sich ein Bild davon zu machen, wie die mit dem einen Vorzeichen behaftete Elektrizität weggeschafft

*) Eine Modifikation der Siemensschen Grundanschauung, die jedenfalls der Beachtung wert ist, hat Holtz (Nachr. v. d. k. Ges. d. Wissensch. zu Göttingen, 1883) angedeutet. Für irgend eine elektrisch-magnetische Einwirkung der Sonne — und denkbarerweise auch anderer Planeten — scheint immerhin auch die Existenz jener merkwürdigen Erdströme zu sprechen, mit welchen sich Wild, Schering und Weinstein beschäftigt haben, und die dem ersteren zufolge zwar die primäre Ursache der magnetischen Störungen, nicht aber zugleich der periodischen Veränderungen der erdmagnetischen Elemente sind. Durch in die Erde eingesenkte Platten im Sinne Lamonts und Wilds lässt sich nach Schering freilich der Erdstrom nicht nachweisen, denn diese liefern blos einen Erdplattenstrom, aber wohl hat das um Mittel nie verlegene Genie Siemens' auch für diese schwierigen Beobachtungen das richtige Verfahren an die Hand gegeben.

wird. Von Springs Theorie wird weiter unten bei der Gewitterelektrizität die Rede sein; einige Ähnlichkeit hat mit ihr die aber auch für die Erklärung der gewöhnlichen Luftelektrizität anwendbare Theorie von Gay-Lussac, welche insbesondere auch mit der von Palmieri erkannten Thatsache, dass jede regnende Wolke ein Magazin von Elektrizität bilde, in Einklang zu bringen ist. Man weiss und kann es durch die einfachsten Vorlesungsversuche belegen, dass die Elektrizität sich ausschliesslich auf der Oberfläche eines leitenden Körpers ansammelt und durchaus nicht in dessen Inneres eindringt. Gesetzt nun, jedes in der Luft schwebende Wasserdampfkügelchen sei mit Elektrizität geladen, möge deren Spannung auch eine unmessbar schwache sein: sobald beim Beginne der Kondensation aus einer sehr grossen Anzahl solcher Kügelchen ein einziger sphärischer Wassertropfen sich gebildet, wird auf denselben auch die gesamte Elektrizitätsmenge übergehen, welche vorher die Dampfbläschen gesondert besassen, und da die Oberfläche des Wassertropfens sehr viel kleiner ist als die Summe der Oberflächen der kontribuierenden Wasserdampfkugeln, so muss die Spannung in entsprechendem Masse wachsen und messbar werden. In ähnlicher Weise hat auch der berühmte schottische Physiker Tait die Spannung der Luftelektrizität, zumal wenn dieselbe beim Gewitter stärker anwächst, durch die beim Kondensieren des Wasserdampfes in der Luft erfolgende Volumverminderung des Wassers zu erklären versucht, allein offenbar ist damit die Frage nicht eigentlich gelöst, sondern nur hinausgerückt. Denn wie kommt es, dass jedes Dampfteilchen schon von Hause aus ein elektrisches Potential besass, mag man dasselbe auch so gering annehmen als man will?

Eine durchaus originelle Anschauung ist diejenige Edlunds, welcher atmosphärische Elektrizität und Polarlichterscheinungen gleicherweise durch die unipolare Induktion des Erdmagneten hervorgebracht werden lässt.*) Die Erde wird als ein permanenter Magnet**) betrachtet, und es lässt sich dann berechnen, wie derselbe auf ein neutral-elektrisches, d. h. beide Elektrizitäten in gleicher Menge besitzendes Molekül an der Erdoberfläche einwirkt, welches sich an der Erddrehung beteiligt und dadurch polar induziert wird. Der Kalkul zeigt, dass das positive Fluidum, welches mit verdichtetem Aether identifiziert wird, am Aequator energisch aufwärts, von der Erde weggetrieben wird, während das negative Fluidum in der Richtung nach den Polen abfliesst, und zwar wird dessen Strömungsenergie mit weiterer Entfernung vom Aequator immer geringer. Die Luft wird positiv, die Erdoberfläche negativ elektrisch, und da sich sonach zwei entgegengesetzte Elektrizitäten gegenüberstehen, muss es auch Ausgleiche zwischen ihnen geben, und zwar kontinuierliche (Polarlichter) und disruptive (Gewitter).***) Erstere sind noch nie in

*) Edlund, Sur l'origine de l'électricité atmosphérique, du tonnerre et de l'aurore boréale, Stockholm 1885.

**) Weniger wohl aus Vorliebe für den theoretischeu Grundgedanken als mit Rücksicht auf die Bequemlichkeit der Rechnung greift Edlund auf die von Euler, T. Mayer und Hansteen festgehaltene, von Gauss aber beseitigte Hilfsvorstellung zurük, dass ein stabförmiger Magnet im Erdinneren die Erscheinungen des tellurischen Magnetismus veranlasse.

***) Es verdient als ein merkwürdiger Fall von Vorahnung verzeichnet zu

der Umgebung des Gleichers wahrgenommen worden, was der schwedische Naturforscher in folgender recht plausibler Weise erklärt: Die positive Elektrizität folgt im allgemeinen der Richtung der Neigungsnadel, und da diese im magnetischen Aequator genau, im geographischen Aequator wenigstens annähernd horizontal steht, so ist dort die Möglichkeit einer stetigen Ausgleichung nicht vorhanden.

Der nächstliegende Gedanke, wenn es sich um die Bildung von Elektrizität handelt, ist doch immer der an irgend eine Reibung. Selbst Palmieris Theorie, welche die Kondensation als eigentlichen Ursprung der elektrischen Spannung angibt, muss der zuerst genannten Auffassung weichen, da trotz der grossen auf die Ausbildung der Hypothese verwandten Sorgfalt doch immer die Mutmassung, dass auch Reibung mit im Spiele gewesen wäre, nicht ausgeschlossen ist, und da zudem durch Versuche von Faraday, Dufour und Kalischer der Beweis dafür geführt ward, dass Kondensation als solche zwar vorhandene Elektrizität verstärken, nicht aber dieselbe zu erzeugen vermögend sei. Jordan und Andries huldigen der Ansicht, dass die Luft durch Reibung mit den aufsteigenden Wasserteilchen negativ elektrisch werden könne, doch sei dies immer ein Ausnahmezustand. Auch Gerland steht der Reibungshypothese wenigstens nicht feindlich gegenüber.*) Ganz entschieden erklärt sich aber für dieselbe E. Hoppe, der zu diesem Zwecke auf ganz neu erdachter Basis eine Reihe von Experimenten angestellt hat. Er hält dafür, dass die Elektrizität durch die bei der Verdampfung eintretende Reibung des Dampfes an den festen Bestandteilen der Erdoberfläche entstehe, und weiss hiefür auch die eigentümliche Periodizität der Luftelektrizität, von welcher wir oben Kenntnis nahmen, ins Treffen zu führen. Kurz vor Sonnenaufgang zeigt das Elektroskop nur ganz schwache Spuren einer Einwirkung auf, sowie jedoch die Sonne sich über den Horizont erhoben hat, beginnt ihre Wärme auch unverzüglich eine lebhaftere Verdunstung einzuleiten, die mit Reibung verbunden ist, und sofort ist auch eine stärkere Ladung der Atmosphäre mit Elektrizität zu beobachten. Bei der Bildung des Abendnebels tritt wiederum eine kräftige Elektrizitätsentwicklung auf, die, wie Humboldt und Kiessling bemerkten, sogar — ohne Gewitter — Flächenblitze (s. u.) hervorbringen kann; nach Sonnenuntergang trocknen die Erdschichten rasch aus, Verdampfung und Reibung werden geringer. Eine Bekämpfung der von Hoppe vorgetragenen Lehren ist noch nicht zu unserer Kenntnis gekommen. — Wesentlich anders weiss mit dem gleichfalls als Grundursache angenommenen Reibungsprozesse die

werden, dass der bekannte Philosoph und Physiker Chr. v. Wolf bereits 1716 in einer Vorlesung über eine im gleichen Jahre zu Halle a. S. gesehene merkwürdige Lichterscheinung es für wahrscheinlich erklärt, dieselbe sei ein Nordlicht gewesen und eine von einem Gewitter nur dadurch unterschiedene elektrische Entladung, dass ersterer „die Kraft zur Gewitterbildung ausgegangen“ sei.

*) Bei Gerland bleibt es unentschieden, ob die Verdichtung des Wasserdampfes oder des letzteren Reibung an der umgebenden Luft oder endlich die Reibung der herabfallenden Wassertröpfchen mit der Luft die eigentlich letzte und massgebende Ursache ist.

Theorie von Sohncke*) zu operieren, welche jedenfalls ein bedeutendes Moment in der neuerdings so lebhaft gewordenen Diskussion über das Wesen der Luftelektrizität repräsentiert. Sohncke geht zuerst darauf aus, festzustellen, in welcher Höhe über der Erdoberfläche wohl für gewöhnlich die Isothermfläche von 0 Grad, d. h. jene Fläche zu suchen sei, für deren sämtliche Punkte gerade daselbst befindliches Wasser zu gefrieren anfangen würde. Die Ergebnisse, welche hinsichtlich der Temperaturabnahme mit der Höhe auf nicht weniger denn 23 Luftfahrten gewonnen wurden, lassen es als wahrscheinlich erscheinen, dass fragliche Höhe in den heissesten Sommermonaten 3000 bis 4000, mitunter aber auch nur 2000 Meter beträgt, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dass die Höhenlage der Isothermfläche Null in ein bis zwei Stunden um ebensoviele Meter variieren kann. Wolken, welche, von der Erde aus gerechnet, jenseits der Isothermfläche Null schweben, werden gewöhnlich aus Eisteilchen oder doch aus Kügelchen von überkältetem**) Wasser bestehen. Hebt nun ein aufsteigender Luftstrom jene Fläche, die sich rings um den Strom umso tiefer senken wird, so gelangt tropfbares Wasser in die Eisregion hinauf, und die Reibung der sich mischenden Eis- und Wasserteilchen muss als die eigentliche Elektrizitätsquelle angesehen werden. Sohncke hat die hierauf bezüglichen Versuche Faradays an der Dampfelektrisiermaschine (s. o.) wiederholt und dessen aus diesen Versuchen abgezogene Resultate seinerseits bestätigt gefunden. Je kälter das Eis ist, desto stärker elektrisch wird es. Bei zwei neben einander hinfliessenden Luftströmen, die jeweils tropfbares und festes Wasser mit sich führen, werden die Eisteilchen positiv, die Wasserteilchen negativ elektrisch, und die mit entgegengesetzter Elektrizität geladenen Partikeln werden schnell auseinander geführt. Die Theorie des Italieners Luvini kommt, richtig interpretiert, auf das gleiche heraus; ein anderer Italiener, Ciro Ferrari, macht gegen Sohnckes Höhenbestimmung der Isothermfläche Null Einwände, die jedenfalls Beachtung heischen, das Fundament der Sohnckeschen Hypothese jedoch kaum ernstlich zu erschüttern fähig sind. Elster und Geitel haben allerdings mit Recht darauf hingewiesen, dass bei allen experimentellen Forschungen über Tropfen-Reibung sich leicht Fehlerquellen eröffnen, indess sind letztere doch nicht so geartet, um nicht durch den Scharfsinn des Experimentators wieder verschlossen werden zu können. Die Erhaltung der elektrischen Spannung ist nach Colladon nur dadurch möglich, dass der Regen fortwährend kalte, mit Eisteilen erfüllte Luft niederwärts- und dass diese absteigende Luft eben auf ihren Eisnadeln den Gewitterwolken Elektrizität zuführt. Recht dankenswert ist Suchslands***) Prüfung von nicht weniger denn 24 verschiedenen Hypothesen; diesem Autor zufolge

*) Sohncke, Der Ursprung der Gewitterelektrizität und der gewöhnlichen Elektrizität der Erde, Jena 1885.

**) Befindet sich eine Flüssigkeit in absoluter Ruhe, so kann ihre Temperatur mehrere Grade unter deren Gefrierpunkt sinken, ohne dass Eisbildung einträte; die geringste Erschütterung führt solche herbei.

***) Suchsland, Die gemeinschaftliche Ursache der elektrischen Meteore und des Hagels, Halle 1886.

sind die Gewitterwolken selbst Voltasche Säulen, die Hagelwolken besitzen nichts aussergewöhnliches, sondern nur eine besonders hochgespannte Elektrizität, und die Luftelektrizität ist nichts als eine Influenzwirkung von elektrischen Polen. — Erwähnt sei noch, dass F. Exner die mittlere Dichte der Elektrizität an der Erdoberfläche 0,0016 elektrostatischen absoluten Einheiten, resp. — 4.10^9 „Volt" gleichsetzt; letzteres bedeutet soviel, dass ein Punkt, welcher von sämtlichen vorhandenen elektrischen Massen unendlich weit entfernt ist, ein um 4.10^9 Volt höheres Potential besitzt, als es dasjenige der Erde ist.

Eine Entscheidung zwischen den zahlreichen um den Preis ringenden Ansichten, wie man sich das Zustandekommen des, wenn auch noch so schwach, so doch immer und allerorts vorhandenen elektrischen Potentiales der Atmosphäre zu denken habe, kann an diesem Orte naturgemäss nicht getroffen werden. Dass die Reibung der ausschlagebende Faktor sei, dünkt uns allerdings, da in diesem Punkte die vervollkommneten Theorien der Neuzeit mit einander übereinstimmen, ganz unbestreitbar, dagegen überlassen wir es dem Urteile des Lesers, sich bezüglich des individuellen Charakters jener Friktion die passende Auslese zu treffen. Bislang hatten wir es ausschliesslich mit statischer Elektrizität zu thun; neues Licht wird auf die unserer Untersuchung unterstellten Fragen fallen, wenn wir nunmehr auch den Äusserungen der dynamischen Elektrizität, wie sie in den Gewittern und in den diesen verwandten Erscheinungen zutage treten, unser Augenmerk zuwenden.

Das Altertum kannte die Anziehungskraft des geriebenen Elektrums, es wusste die Schläge der elektrischen Fische in der Heilkunde zu verwerten, und es interessierte sich lebhaft für die Blitze, welche Plinius nach gewissen — natürlich rein äusserlichen — Kennzeichen zu klassifizieren lehrte, allein davon, dass die drei erwähnten Phänomene zusammengehörig und durch das Walten einundderselben Naturkraft bedingt seien, fehlte Griechen und Römern jede Ahnung. In freilich noch recht unbestimmter Form durchzuckte solche Ahnung zuerst den trefflichen Otto v. Guericke, als er die erste rohe Elektrisiermaschine, eine um eine Achse drehbare Schwefelkugel, zustande gebracht hatte, denn als er an die in Rotation versetzte Kugel den Finger hielt und das mit dem Überspringen des Funkens verbundene knackende Geräusch vernahm, äusserte er sich sogleich dahin, dass er hier auf ein Analogon des Blitzes gekommen sei. Präziser warf zu Anfang des vergangenen Jahrhunderts B. Winkler, Professor der Mathematik und Physik an der Universität Leipzig, die Frage auf, „ob Schlag und Funken der verstärkten Elektrizität für eine Art des Donners und Blitzes zu halten sind?" Nachdem dann noch von seiten englischer Physiker durch teilweise sehr grossartig angelegte Versuchskombinationen der Nachweis dafür erbracht worden war, dass sich durch Auffangstangen die in der Luft vorhandene Elektrizität aufsaugen und sammeln lasse, wagte sich Benjamin Franklin (1752) an den entscheidenden, so oft beschriebenen Versuch, einen mit eiserner Spitze versehenen Papierdrachen bis in die Höhe einer Gewitterwolke aufsteigen zu lassen und zuzusehen, ob diese Spitze die Luftelektrizität aufnehmen und auf einen am unteren

Ende des Fadens angebrachten Schlüssel übertragen würde. Mehrere vielversprechende Gewitterwolken gingen vorüber, ohne ein Resultat zu liefern; als aber eine neue Wolke kam und Regen niedersandte, bemerkte Franklin, dass die Fibern der Schnur sich aufrichteten,*) rasch hielt er den Finger an den Metallschlüssel und war nun zu seiner Freude in der Lage, Funken herausziehen zu können, Funken, die völlig mit den der Elektrisiermaschine entlockten übereinstimmten. Diese Art, den Versuch anzustellen, ward bald aufgegeben, denn sie brachte für den Experimentator grosse persönliche Gefahr mit sich, und in der That fiel der Petersburger Akademiker Richmann, welcher bald nach Franklin den Blitz ganz in dessen Weise untersuchte, seiner Wissbegierde zum Opfer.**) Übrigens verdient der Erfolg des amerikanischen Forschers als eine um so bemerkenswertere historische Thatsache angemerkt zu werden, weil er von einer ganz falschen Ansicht bezüglich der positiven Elektrizität der Wolken und von der Annahme einer in Wirklichkeit nicht entfernt vorhandenen Analogie zwischen Blitz und Meeresleuchten***) ausgegangen war.

Man unterscheidet gemeiniglich drei ihrer Erscheinungsform nach ganz verschiedene, wenngleich von der nämlichen Ursache bedingte Gattungen von Blitzen oder drastischen, disruptiven Entladungen resp. Ausgleichungen zwischen der negativen Elektrizität der Erde und der positiven Elektrizität der Atmosphäre. Wenn ein jäher Lichtschein mit einem male einen sehr grossen Theil der Gewitterwolke beleuchtet, so sprechen wir vom Flächenblitz (s. o.), als dessen Gegensatz der lineare Blitz oder Zickzackblitz, die gewöhnlichste Blitzerscheinung, anzusehen ist; häufig erinnert ein solcher Blitz an einen Baumast, von welchem seitlich feine Verzweigungen ausgehen. Wenn das elektrische Fluidum zwischen mehreren weit von einander entfernten Wolken und nicht, wie gewöhnlich, vom Himmel zur Erde überschlägt, so kann die Länge eines Blitzes eine bedeutende, 10 km und mehr umfassende sein. Neuerdings hat man es in der Kunst, Blitze durch Momentanphotographien mit grosser Treue wiederzugeben, sehr weit gebracht, und auch das Spektrum des Blitzes ist von Kundt u. a. untersucht worden. Eine dritte, viel seltener in die Erscheinung tretende Klasse

*) Gewöhnlich stellt man es so dar, als sei die Schnur durch den Regen feucht und dadurch erst zum Leiter geworden, was ja an und für sich gewiss auch richtig ist. Allein ein anderer Umstand mag zum Gelingen des Franklinschen Versuches vielleicht ebensoviel beigetragen haben: die Verstärkung des elektrischen Potentiales, welche nach Palmieri (s. o.) eine unmittelbare Konsequenz des Regens ist.

**) Richmann zog mit einem Metalldrahte die Elektrizität aus einer hohen, spitzen Stange, welche einfürallemal fest aufgerichtet war. Bei einem Gewitter sahen die Gehilfen, dass plötzlich eine grosse, bläulich schimmernde Lichtkugel aus der Auffangstange und dem unglücklichen Gelehrten an die Schläfe fuhr. Der Kugelblitz hatte dessen sofortigen Tod herbeigeführt.

***) Selbst noch J. R. Forster, der Begleiter Cooks, glaubte an irgendwelche Mitwirkung der Elektrizität beim Phosphoreszieren des Meeres, und es war A. v. Humboldt vorbehalten, die richtige Erklärung zu geben, dass nämlich dieses Lichtflimmern von der irgendwie gereizten Haut zahlloser kleiner Seetiere ausgehe. Das Meeresleuchten, sagt Ratzel, macht immer den Eindruck einer ins Reich des Anorganischen gehörenden Erscheinung.

der Blitze stellt sich uns dar in dem Kugelblitz, den man früher wohl mit niederfallenden Meteoriten von bedeutendem Glanze (sogenannten Feuerkugeln) verwechselte, der aber, zumal den andauernd fortgesetzten Beobachtungen des Dänen Köhl zufolge, gleichfalls auf Realität Anspruch machen kann, wie dies auch schon von Arago, dem Begründer dieser Klassifikation der Blitze, behauptet worden war. Als eine besondere Abart des Kugelblitzes mag der bis jetzt nur in einigen wenigen Fällen beobachtete Perlenblitz betrachtet werden, der nach einem von Planté gegebenen Photogramme wirklich wie eine leuchtende Perlenschnur aussieht. Eben Planté war es auch, der in seinem ganz allgemein von den Wirkungen hochgespannter Elektrizität handelnden Werke*) Kugel- und Perlenblitze experimentell nachzuahmen lehrte. — Auch das bekannte Wetterleuchten gibt uns noch zu einer Bemerkung Anlass. Man war lange darüber nicht im klaren, ob man es da mit einer Art von Flächenblitz oder mit einem unvollkommen entwickelten Blitze anderer Gattung oder endlich mit einer Reflexionserscheinung zu thun habe, und diese letztere Auffassung des Wetterleuchtens hat den endgiltigen Sieg davon getragen. v. Bezold hat mehrere interessante Beobachtungen über jenes angestellt und u. a. gezeigt, dass sehr wohl der Widerschein eines über der Po-Ebene niedergehenden Blitzes diesseits der Alpen sichtbar werden kann, wenn nur die das Licht zurückwerfenden Wolken in gehöriger Höhe über dem Alpengebirge schweben.

Die Gefährlichkeit des Blitzschlages ist allgemein bekannt, doch muss im allgemeinen zwischen sogenannten kalten Schlägen, die blos mechanisch zerstörend wirken, und eigentlich zündenden Blitzschlägen unterschieden werden.**) Letztere scheinen einer eigentümlichen und noch nicht genügend erforschten Periodizität zu unterliegen, denn es steht fest, dass in gewissen Jahrzehnten die Blitzgefahr eine weit geringere ist, als in anderen.***) Dies schiene darauf hinzuweisen, dass irgend eine regelmässig wirkende Ursache den Charakter des Blitzschlages bestimmte, und wir werden weiter unten sehen, in welchem Sinne man jene Ursache als eine aussertellurische, kosmische zu erkennen bestrebt war. Andries und Weinberg freilich meinen, dass eine Abnahme der zündenden Blitze kaum mehr zu erwarten sei, denn nicht die vermehrte Häufigkeit sondern nur die vermehrte Heftigkeit der Gewitter trage die Schuld hieran, und für diesen Umstand sei wieder die sich stets vermehrende Menge von Fabriken und technischen Anlagen verantwortlich zu machen, welche die Luft mit Russ, Rauch und

*) Planté, Untersuchungen über Elektrizität, deutsch von J. G. Wallentin, Wien 1886. S. 151 ff.

**) Schon die griechische Sprache hat je eine besondere Bezeichnung für beide Kategorien von Blitzschlägen, φολώεις und ἀργός.

***) Nach v. Bezold, dem die Akten der staatlichen Feuerversicherungsanstalt Bayerns ein Material von sonst kaum wiederzufindender Zuverlässigkeit zu Gebote gestellt hatten, ist die Feuergefährlichkeit der Gewitter seit fünfzig Jahren nahezu stetig angewachsen und das Blitz-Risiko eines Gebäudes ist jetzt dreimal so gross, als es anno 1840 war. Natürlich kommt aber auch sehr viel darauf an, ob sich fragliches Bauwerk an einem Orte befindet, welchen (s. u.) die Gewitter mit Vorliebe heimsuchen.

allen möglichen Verbrennungsprodukten anfüllen. Seit Franklins Grossthat — eripuit fulmen coelo sceptrumque tyrannis, sang man auf ihn in Frankreich — hat man sich gegen die Zündwirkungen der Blitze durch die bekannten Blitzableiter zu schützen gelernt, welche dazu bestimmt sind, dem aus der Wolke überspringenden Funken einen bequemen und zugleich für die Bewohner des geschützten Hauses unschädlichen Weg anzuweisen. Das Einschlagen des Blitzes wird also durch den Blitzableiter nicht nur nicht vermindert, es wird dadurch sogar erleichtert.*) Für gewöhnlich besteht der Blitzableiter aus einer Metallstange mit einer aus nicht leicht oxydierendem Metalle gefertigten Spitze, für welch letztere nach Zenger besser ein schmaler ellipsoidischer Körper gewählt wird; jene Stange ist durch eine metallische Leitung mit der Erde verbunden, und es muss sehr darauf gesehen werden, dass die Leitung nicht an einer Stelle schadhaft oder gar unterbrochen ist, weil der Blitz sonst an der Lücke sich seinen eigenen Weg suchen und, dem besten Leiter folgend, ins Innere des Gebäudes eindringen würde. Über die Beziehungen zwischen der Höhe des Blitzableiters und dem Areale des von ihm gesicherten Territoriums sind viele Untersuchungen, namentlich von G. Karsten, angestellt worden, und es kann als Regel gelten, dass, wenn das Metall ein guter Leiter der Elektrizität ist, die Vertikaldistanz zwischen dem Erdboden und der Spitze dem Radius des horizontalen Kreises gleich sein muss, welcher mit Recht von dem Ableiter Schutz erwarten darf. Ein ganz neuer Gedanke ist in die Technik des Blitzschutzes durch den Belgier Melsens hineingetragen worden, welcher das zu behütende Objekt vollständig mit Drähten umgibt. Der treffliche Physiker Mach, dem wir eine theoretische Prüfung dieses Verfahrens verdanken,**) nahm zuerst Anstoss daran, dass der doch eigentlich nur elektrostatisch giltige Oberflächensatz ohneweiteres auch auf den Fall, da strömende Elektrizität in Frage kam, ausgedehnt werden sollte, allein eine Reihe von Experimenten, welche er zur Entscheidung über die Zulässigkeit dieser Erweiterung anstellte, verhalf ihm zu der Überzeugung, dass Melsens das richtige getroffen hatte. Ein solches System von Drahtgittern gewährt selbst dann noch einen beinahe absolut zu nennenden Schutz, wenn die Drähte durch den Entladungsschlag zum Glühen gebracht sind.

Organische Körper werden durch einen sie treffenden Blitzschlag in besonders nachteiliger Weise beeinflusst. Pflanzen werden brandig, Bäume sterben ab; es rührt dies, wie Lakowitz darthat, wesentlich davon her, dass die plötzliche, starke Wärmeentwicklung alle im Pflanzenkörper befindliche Flüssigkeit auf einmal zum Verdampfen bringt. Menschen und Tiere, welche der Blitz direkt trifft, werden getödtet oder doch schwer verletzt, und zwar zeichnet sich auf der Haut

*) Für gewöhnlich vermitteln die Spitzen, aus denen ja die Elektrizität energisch ausströmt, einen langsamen, ununterbrochen währenden Ausgleich zwischen den entgegengesetzten Elektrizitäten von Erdboden und Luft, so dass die Menge der freien, gefahrdrohenden Elektrizität an sich schon kleiner und die Gefahr eines Schlages geringer wird; kommt es aber doch zu letzterem, so ist ihre Aktion eben die beschriebene.

**) Mach, Versuche und Bemerkungen über das Blitzableitersystem des Herrn Melsens, Wien 1883.

des Betroffenen nicht selten der Weg des elektrischen Fluidums in Gestalt eines verästelten Baumes ab. Hier ist die mechanische Wirkung des elektrischen Schlages, welche man ja auch aus Versuchen im Laboratorium zur genüge kennt, nicht zu verkennen, auffallender aber ist es, dass der Blitzstrahl einen Menschen selbst dann schwer zu schädigen vermag, wenn er nur in dessen unmittelbarer Nähe den Boden trifft. Alsdann werden nämlich die beiden Elektrizitäten, welche unter normalen Umständen im menschlichen Körper sich gegenseitig neutralisieren, und nun durch Verteilung von einander geschieden sind, rasch wieder mit einander vereinigt; diesen Rückschlag hat man sich wie einen im Inneren des Organismus erfolgenden Blitzschlag zu denken, welcher gar keine mechanische Wirkung ausübt, das Nervensystem aber in bedenklichem, nur zu häufig letalem Grade zerrüttet. Wesentlich dieser Rückschlag und viel weniger das direkte Getroffenwerden ist zu befürchten, wenn man bei Gewittern sich neben hohe Bäume u. dgl. stellt.

Auch von einer eigentümlichen Einwirkung des Blitzschlages auf anorganische Körper soll noch kurz die Rede sein. Als man im XVIII. Jahrhundert zuerst in Oberschlesien und später auch anderswo eigentümliche aus Sand zusammengebackene, längs der Achse meist durchbohrte, zylindrische Gebilde ausgrub, wusste man fürs erste aus denselben nichts zu machen, bis endlich die Meinung die Oberhand gewann, dass hier ein Verbrennungsprodukt vorliege, hervorgerufen durch in die Erde eingedrungenes elektrisches Fluidum. So entstand der Name Blitzröhren, dessen Berechtigung Hachette und Beudant durch einen besonderen Versuch bekräftigten: sie liessen nämlich den Entladungsschlag durch eine mit Glaspulver u. dgl. angestopfte Röhre hindurchgehen und bekamen so ganz ähnliche Konglomerate, wie auch die Natur sie aufwies. Hoh sah eine Blitzröhre dadurch entstehen, dass der Blitz in den dicht mit weissem Sande bestreuten Fussboden eines Zimmers einschlug. Neuere petrographische Untersuchungen über diese wohl auch als Fulgurite bezeichneten Sinterbildungen von Gümbel und Wichmann bringen die Jahrgänge 1882 und 1883 der Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft.

Nur wenn der Blitz sehr weit entfernt ist, beim Wetterleuchten z. B., fehlt neben der optischen die akustische Erscheinung, welche meistenteils als getreuer Begleiter des Blitzes sich einstellt. Wir nennen dieses Begleitgeräusch den Donner; er kennzeichnet das Zerrissenwerden der Luft durch den elektrischen Funken und wird nur deshalb später von dem entsprechenden Sinnesorgan wahrgenommen, weil der Schall ganz unverhältnismässig langsamer als das Licht ist (333 Meter gegen 42 000 geogr. Meilen in der Sekunde). Das eigentümliche Rollen, welches den eigentlichen Donnerschlägen nachzufolgen pflegt, muss der Zurückwerfung der Schallwellen von den Begrenzungsflächen der Wolken oder auch von benachbarten Bergabhängen zugeschrieben werden, worüber Reis (s. o.) manche hübsche Beobachtung angestellt hat. Aus der Zeit, welche zwischen dem ersten Aufleuchten des Blitzes und dem Beginne des Donnergeräusches verfliesst, lässt sich mit leidlicher Genauigkeit abnehmen, wie gross die lineare Entfernung zwischen dem Standorte des Beobachters und jener Stelle in den Wolken ist, von welcher die elektrische Entladung ihren Ausgang genommen hatte.

Wir haben bei unserem Studium der Gewitter damit angefangen, die charakteristischen Äusserungsformen derselben, Blitz und Donner, einer besonderen Betrachtung zu unterziehen; nunmehr ist es an uns, die Betrachtung auf die eben mit dem Namen der Gewitter bezeichnete und ohne dynamisch-elektrische Begleiterscheinungen nicht zu denkende Störung des atmosphärischen Gleichgewichtes als solche auszudehnen. Äusserlich gibt sich das Heranziehen eines Gewitters kund durch die Bildung der Gewitterwolken, dunkler, blauschwarzer Kumulusmassen, welche die freie Elektrizität in sich enthalten und eine verteilende Fernewirkung ausüben; die Verteilung äussert sich sowohl den in der Nähe befindlichen Wolken als auch der Erde gegenüber, und das Überspringen des Funkens entspricht zeitlich dem Augenblicke, da die zwischenliegende Luftschicht als Diëlektrikum keinen ausreichenden Widerstand mehr entgegenzusetzen vermag. Die Gewitterwolke geht, sobald der Regen niederrauscht, in die eigentliche Regenwolke (Nimbus s. o.) über. Gewitter ohne begleitenden Regen gehören zu den grössten Seltenheiten, auch Schneefall kommt nicht oft in ihrem Gefolge vor, Hagelschlag dagegen umso häufiger, ja es kann zwar sehr wohl ein Gewitter ohne Hagel, nicht leicht aber ein Hagelschlag ohne Gewitter sich ereignen. Die aussergewöhnlichen Temperaturverhältnisse, welche ein Gewitter begleiten, sind unschwer zu erklären *). Was die Häufigkeit dieser Erscheinungen anlangt, so ist eine tägliche ebenso wie eine jährliche Periode vorhanden. Am seltensten kommen Gewitter in der Nacht vor, am häufigsten einige Stunden nach Mittag, wenigstens im Sommer, denn in der elektrische Entladungen ohnehin nicht begünstigenden kalten Jahreszeit erscheint keine Tageszeit vor einer anderen bevorzugt; in unseren gemässigten Breiten sind Sommergewitter die Regel, Wintergewitter die Ausnahme, während für Island und das nordwestliche Schottland gerade das umgekehrte zu konstatieren ist. Unter den Tropen bezeichnen tägliche Gewitter den höchsten Stand der Sonne. Während aber die Gefahr des Einschlagens in dem Masse des Häufigerwerdens der Gewitter sich vermindert und in der heissen Region kaum vorhanden ist, steigert sich die Gefahr bei den winterlichen Gewittern in erheblichem Masse. Dies hat u. a. Mohn für die Westküste seines Vaterlandes Norwegen festgestellt, allein auch andere Länder wissen von dem schlimmen Charakter der mit Schneefall vergesellschafteten Gewitter zu erzählen. **) Natürlich werden nicht alle

*) „Während des Gewitters“, so spricht sich Mohn (S. 320) aus, „ist die Luft gemeiniglich ungewöhnlich warm und in hohem Grade mit Wasserdampf erfüllt. Die drückende Schwüle, welche man vor dem Gewitter fühlt, rührt davon her, dass die Wasserdämpfe eine rasche Ausstrahlung der Körperwärme hindern.“ Ein sehr thätiger Gewitterforscher, Ciro Ferrari, auf dessen Bemühungen C. Lang mit gutem Grunde die Aufmerksamkeit der deutschen Fachwelt gelenkt hat, untersuchte graphisch den Gang des Luftdruckes, der relativen Feuchtigkeit und der Temperatur vor und nach einem Gewitter und fand, dass erstere Kurve ebenso rasch nach jähem Falle steigt, wie die Temperaturkurve nach anfänglichem Steigen sich senkt. Freilich gilt dies alles nur für Orte von nicht bedeutender Meereshöhe, oben auf Berggipfeln flachen die Kurven sich derart ab, dass ein Gewitter kaum nennenswerten Einfluss auf die atmosphärischen Faktoren zu äussern scheint.

**) Sehr merkwürdig war in dieser Beziehung das Gewitter vom 6. Januar 1865, während dessen es leicht schneite. Um dieselbe Tageszeit löste sich aus

Teile der Erdoberfläche in gleichem Masse betroffen, doch scheint es ebensowenig absolut immune Örtlichkeiten zu geben, vielleicht von den dauernd in Schnee und Eis gehüllten Polarkalotten abgesehen. H. J. Klein und Fritz haben uns mit Tabellen der Gewitterhäufigkeit für die einzelnen Teile der Erdoberfläche beschenkt, doch bedarf es noch eines besonderen Studiums, um etwa die „spezifische Gewitterdichte" einer Gegend mit deren Bodenkonfiguration u. s. w. in kausale Beziehung zu bringen. Ansätze hiezu sind bei den Studien über die Bahn der Zugstrassen der Gewitter gemacht, doch wollen wir hierauf zunächst nur im Vorübergehen eingehen*), weil wir sonst fürchten müssten, allzuweit auf das dem dritten Hauptstücke vorbehaltene klimatographische Gebiet uns zu verlieren.

Die Thatsache, dass solche regelmässig eingehaltene Gewitterbahnen vorhanden sind, mag auf den ersten Anblick etwas verwunderliches haben, darf aber nach den neueren Untersuchungen v. Bezolds und Ciro Ferraris nicht mehr in Zweifel gezogen werden und streitet auch nicht gegen die theoretischen Vorstellungen, welche wir uns (s. u.) von dem Wesen der Gewitter zu bilden genötigt sehen. v. Bezold hat, um eben die Fortbewegung jener besser übersehen zu können, für Bayern einen eigentümlichen Gewitter-Korrespondenzdienst eingerichtet**), den das Königtum Württemberg als zweckmässig anerkannte und adoptierte, und dessen Übertragung auf Norddeutschland sicherlich nur eine Frage naher Zukunft ist. Als ein nützliches Hilfsmittel bewährte sich bei diesen Studien auch die Einführung der Homobronten (von βροντή, Donner), welche man durch alle diejenigen Plätze hindurchlegt, an denen man den ersten Donner zu gleicher Zeit gehört hatte, deren Ver-

einer über ganz Süddeutschland ausgebreiteten, stark elektrisch geladenen Wolke ein Blitzschlag ab, welcher das Schloss Hohen-Rechberg in Schwaben, den Kirchturm des Dorfes Hanberg (bei Erlangen) und die Spitze des Südturmes der Nürnberger St. Lorenzkirche in Asche legte und als kalter Schlag auch mehreren Kirchen Würzburgs sich fühlbar machte.

*) Es gibt gewisse enge abgegrenzte Regionen, welche als eine Art Sitz oder Brutstätte der Gewitterbildung anerkannt werden müssen; mehrere derselben finden sich in der bayerischen Moränenlandschaft, zwischen den Gebirgen und den bekannten Seen des Vorlandes. Die Vertreter der Hagelversicherungsgesellschaften werden begreiflicherweise auf solche Erdstellen manchmal eher aufmerksam als die Meteorologen; so haben erstere, durch Schaden gewitzigt, auch den Kanton Tessin als gefährdete Gegend ausfindig gemacht.

**) Die meteorologische Zentralstation in München versendet an die für die Anstellung von Korrespondenzbeobachtungen gewonnenen Freunde der Sache Korrespondenzkarten mit aufgedrucktem Formulare, bei deren Beförderung die Post wie bei portofreien Dienstsachen verfährt. Der Adressat füllt die einzelnen Posten gemäss den gemachten Wahrnehmungen aus und befähigt damit die Zentralstelle, Individualbeschreibungen der Gewitter von früher unerreichbarer Verlässigkeit liefern zu können. C. Lang hat begonnen, regelmässige Berichte über die bayerischen Gewitter zu veröffentlichen, von L. Meyer ist ähnliches für Württemberg geschehen. H. Meyer gab uns interessante Aufschlüsse über den Verlauf der Gewitter im hannöverschen Leinethale, und so baut sich aus Detailstudien nach und nach eine umfassende Gewitterkunde auf; vgl. auch Assmanns Dissertation „Die Gewitter in Mitteldeutschland" (Halle 1885). Besonders erfreulich wäre es, wenn es im Sinne Köppens gelänge, das Zugspersonale der Eisenbahn zur Ausfüllung von Fragebögen zu veranlassen, weil dadurch von selbst einheitliche Zeitbestimmungen erhalten würden.

lauf also Fortschreitungsrichtung und Fortschreitungsgeschwindigkeit der Gewitter zu übersehen gestattet.*) An sich wäre vielleicht im Sinne Ciro Ferraris die Festhaltung der Maximalphase eines Gewitters das wünschenswertere, allein entgegen dem italienischen Forscher sind wir überzeugt, dass ungeschulte Beobachter — und deren ist es doch die überwiegende Mehrzahl — viel leichter die in v. Bezolds Schema gemachten Forderungen zu erfüllen vermögen.

Während man in früherer Zeit alle Gewitter dem Walten einundderselben Grundursache zuschrieb, trennt man dieselben heutzutage in zwei scharf von einander gesonderte Kategorien, in Wärme- oder lokale Gewitter und in Wirbel- oder Depressionsgewitter. Die tropischen Gewitter gehören zu der ersten Gruppe, weichen aber hinsichtlich der Stärke der elektrischen Entladung von der sonst für ihre Gattung bestehenden Regel ab, wie denn im allgemeinen sonst bei den Depressionsgewittern die mechanischen Wirkungen des Entladungsschlages die entschieden heftigeren sind. Ein rein örtlich aufsteigender Luftstrom, der Mengen von Wasserdampf mit nach oben bringt, vermag zur Sommerszeit ein kräftiges Nachmittagsgewitter auszulösen, ohne dass aus der Wetterkarte ein Anhaltspunkt für eine solche — meist denn auch nicht anhaltende — Verschlechterung der Witterung zu gewinnen wäre. Die Elektrizitätsentwicklung geht in diesem Falle nach Hoppe in der Weise vor sich, dass der Luftstrom, während die kleinen und sich allmählig kondensierenden Dampfbläschen zu immer grösserer Höhe emporgerissen werden, eine starke seitliche Reibung erleidet, infolge deren die sich bildende Wolke positiv, ihr Rand aber negativ elektrisch wird. Eine andere Bewandnis hat es mit den in Gefolge grosser Luftwirbel einhergehenden Gewittern. Nicht jedes fortschreitende barometrische Minimum bringt ein Gewitter zuwege, vielmehr geschieht dies nur dann, wenn bei der durch die Zyklone eingeleiteten atmosphärischen Bewegungen ein warmer, feuchter Luftstrom und ein kalter Luftstrom einander durchdringen.**) Diese Gewitterform fehlt auch den höheren, für thermale Gewitter unzugänglichen Breiten nicht. Neuerdings wird man, gestützt auf die schönen Forschungen Hildebrandssons, Teisserenc de Borts und van Bebbers über die Beschaffenheit der einzelnen meteorologischen Elemente an den verschiedenen Seiten einer wandernden Zyklone, mit Aussicht auf Erfolg an eine Analyse der Bedingungen für die Entstehung eines Depressionsgewitters herantreten können. Köppen hat es bereits wahrscheinlich gemacht, dass diese Gewitter sehr gerne da sich

*) Als Beispiel einer solchen Spezialuntersuchung möge diejenige von Köppen über das grosse Gewitter vom 9. August 1881 hier Erwähnung finden. Es fand sich dabei, dass das vom Gewitter betroffene Territorium einerseits von der Ostsee bis zu den Alpen und andererseits von Belgien bis Russland sich erstreckte. Die norwegischen Gewitter pflanzen sich nach Mohn mit einer durchschnittlichen (Sekunden)-Geschwindigkeit von 10,6 m fort, d. h. die für die Bildung der Gewitterwolken günstigen Zustände ändern ihren Ort im Raume mit dieser Geschwindigkeit. Wolkenzug und Fortbewegung des Gewitters brauchen der Richtung nach keineswegs übereinzustimmen.

**) Wie wir später sehen werden, bewegen sich die Minima häufig auf bestimmten Bahnen; kein Wunder also, dass die von ihnen erzeugten Wirbelgewitter ein gleiches thun (s. o).

bilden, wo an der Grenze der warmen und kalten Luftströmungen in der Umgebung eines ausgebreiteteren Minimums die Neigung zur Bildung sogenannter Teildepressionen hervortritt. Geht man auf einer Landkarte dem Fortschreiten der elektrischen Entladungen nach, so bemerkt man vielfach ein approximatives Zusammenfallen der Gewitterfront mit der Achse der fortschreitenden Teildepression. „Die Gewitter vom 13. bis 17. Juli 1884 in Deutschland" betitelt sich eine im 8. Jahrgang des trefflichen Sammelwerkes „Aus dem Archiv der deutschen Seewarte" erschienene Abhandlung von Börnstein, welche uns das soeben geschilderte Verhalten an einem sehr typischen Falle vor Augen stellt. Wir haben uns hier wesentlich nur mit den Gewittern als Trägern hochgespannter Luftelektrizität zu beschäftigen, behalten uns aber vor, die mechanische Seite der Gewitterfrage späterhin im Zusammenhange mit anderen verwandten Erscheinungen noch besonders zu beleuchten.

Wenn die Gewitterwolke disponiert zum Hagelschlage ist, pflegt sich diese ihre Eigenschaft bereits durch ihr äusseres Aussehen zu verraten; die Hagelwolke erscheint von eigentümlicher weisser Farbe, und zungen- oder hakenförmige Fortsätze gehen von ihr aus. Mitunter senkt sich eine solche Zunge, einer Trombe ähnlich, bis nahe an die Erdoberfläche herab. Hagelfälle kommen zu allen Zeiten vor, jedoch natürlich wie die Gewitter (s. o.) häufiger bei tage als bei nacht, und ebenso in allen Ländern; selbst für den indischen Ozean, welchen man früher gänzlich vom Hagel verschont wähnte, hat v. Danckelman das Gegenteil nachgewiesen. Wie der Hagel zustande kommt, ist ein noch ungelöstes Problem.*) Wahrscheinlich auf den oben charakterisierten Augenschein hin hatte Aristoteles angenommen, die Hagelkörner seien von vornherein in einer gewissen Wolke eingeschlossen, diese platze und lasse ihren Inhalt zur Erde herniederprasseln; diese Theorie blieb für das gesamte Altertum und Mittelalter die allein massgebende. Vor etwa hundert Jahren sah sich Volta durch die als „elektrischer Puppentanz" bekannte Spielerei angeregt, eine neue Hageltheorie aufzustellen: Ein fallendes Eisstückchen gelangt in eine mit einer der seinigen gleichnamigen Elektrizität geladene Luftschicht und wird zurückgeworfen, fällt wieder herab und wird abermals zurückgestossen, und so geht es fort, bis am Ende, nachdem immer mehr Wasser auf dem Eisbrocken sich niedergeschlagen hat, die Schwerkraft definitiv die Oberhand gewinnt. Von einzelnen Zeitgenossen enthusiastisch aufgenommen, musste diese Hypothese sich doch auch gleich von seiten anderer energische Bekämpfung gefallen lassen, wie denn auch auf rechnerischem Wege die Unmöglichkeit, repulsive Kräfte von solcher Intensität in die Atmosphäre zu verlegen, leicht zu erweisen ist. Späterhin hat man die oft ausserordentliche Grösse der Hagelkörner, deren ja bereits unser deskriptives erstes Hauptstück gedachte, mit dem Übereinanderliegen verschiedener Schichten von überkältetem Wasser in Zusammenhang gebracht, durch

*) Eine von der wissenschaftlichen Gesellschaft Haarlems gestellte Preisfrage gab den Anlass zu dem Erscheinen zweier sehr interessanter Monographien von Baurmeister und Wähner (letztere ward gekrönt) über die Geschichte der Hageltheorien (1876). Die neuesten, besonders wichtigen Phasen vermochten darin freilich noch nicht berücksichtigt zu werden.

welche hindurchfallend das Korn jeweils mit einer neuen Eisschicht sich bedecke. Dies kann denn auch bereitwillig zugestanden werden, umso mehr, als dadurch die ebenfalls bereits erwähnte Zusammensetzung ellipsoidischer Hagelstücke aus verschiedenen gleich gelagerten Sphäroidalkörpern ihre zureichende Erklärung findet, allein die Entstehung des Eiskügelchens an sich bedarf immer noch der Aufhellung. Die heutigen Meteorologen sind nun zwar darüber einig, dass Hagel stets und nur dann sich bildet, wenn der aufsteigende Luftstrom dampfreiche Luft sehr schnell zu beträchtlicher Höhe hinauftreibt, allein auch diese gegründete Hypothese lässt im übrigen der Freiheit der Erklärung noch einen weiten Spielraum. Ferrel, der in seiner Annahme von der Lage der Isothermfläche Null ungefähr auf Sohnckes Standpunkt sich stellt, hält den aufsteigenden Luftstrom für stark genug, um Regentropfen und Hagelkörner schwebend zu erhalten, ja eventuell sollen dieselben sogar in der Achse des zylindrischen Schlauches in die Höhe getrieben werden können, um seitlich von dem Orte ihrer Bildung niederzufallen.*) Ähnlich denkt Möller, welcher die Eisbildung auf den Umstand zurückführt, dass schon relativ kalte, in langgestrecktem Horizontalwirbel fortschreitende Luft in den aufsteigenden und dabei sich abkühlenden Luftstrom eintritt. Die Analogie zwischen einem Hagelwetter und einer Trombe (s. o.) ist jedenfalls eine sehr grosse, beidemale haben wir es mit einer Wirbelbewegung der Atmosphäre zu thun, welche sich vorwiegend in den oberen Luftschichten und nur zum kleineren Teile auch an der Erdoberfläche geltend macht, doch scheint nach Köppen und Andries die bei einem Gewitter beobachtete krummlinige Biegung der Luftfäden dem Schema einer Trombe nicht ganz zu entsprechen. Die bereits besprochene Idee, das höhere elektrische Luftpotential auf die von der Kondensation abhängige Verminderung der Gesamtoberfläche zurückzuführen, begegnet uns wieder in Springs Hageltheorie. Diese erkennt keinen fundamentalen Unterschied zwischen Riesel und Hagel an, vielmehr entstehen nach ihr die Hagelkörner durch die Vereinigung zahlreicher kleiner Graupelkryställchen, und es muss sonach mit dem Verschwinden so vieler bisher freier Oberflächen eine intensive Elektrizitätsentwicklung Hand in Hand gehen.

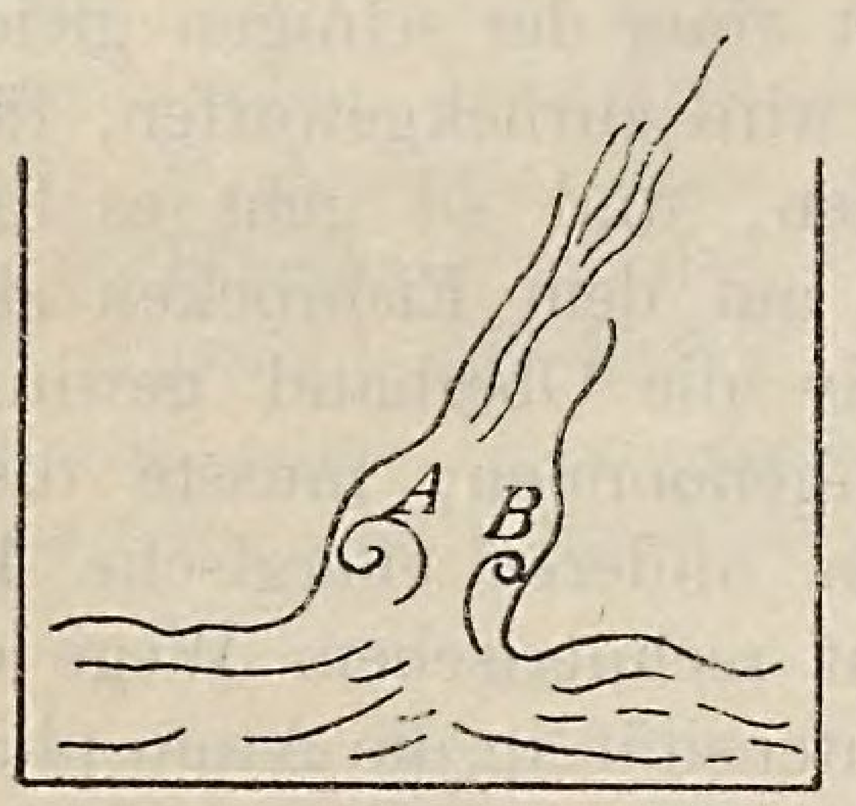


Fig. 38.

Auch die Bedingungen für Hagelschlag im Versuche zu reproduzieren, war von je Vettins Bemühen. Um grosse Luftwirbel zu erhalten, bedient sich derselbe einer flachen, teilweise mit Wasser gefüllten Schüssel, die er rotieren lässt und in der Mitte erhitzt. Es bildet sich dann ein aufsteigender Luftstrom wie ihn Fig. 38 zur Darstellung bringt. Sobald die Bildung des Luftschlauches eingeleitet ist, entstehen

*) Sprung, S. 225. „Die ausserordentliche Grösse, welche bei Hagelkörnern zuweilen beobachtet wird, glaubt Ferrel dadurch erklären zu können, dass die durch den aufsteigenden Strom emporgeführten und in der Höhe nach aussen fortgeschleuderten Hagelkörner bei dem Herabsinken in einem unteren

immer auch in dessen unterem Teile kleine „Rollen" A und B, welche allgemach vor den Augen des Beobachters die Spindel ausweiten und so an der Zerstörung des Wirbels arbeiten. In diesen Rollen aber sucht Vettin den Ort für Platzregen, Riesel und Hagel, je nachdem die Temperatur der Luft in den Rollen über Null oder unter Null oder endlich teils über teils unter Null steht. Man konstatiert unwillkürlich eine Art von Verwandtschaft zwischen dieser modernsten Theorie und der uralten aristotelischen (s. o.). — Bei allen diesen Versuchen, die Hagelbildung zu erklären, blieb die bizarre, oft abenteuerlich-grosse Form der Körner, wie sie in asiatischen Ländern von Blanford und Abich wahrgenommen wurde, ohne Berücksichtigung, und in der That steht diesen Abnormitäten die Forschung vorderhand noch ratlos gegenüber.*) Schwedof glaubte deshalb einen kosmischen Ursprung des Hagels stipulieren zu müssen; warum, fragt er, sollen, da die chemische Analyse der Meteorsteine in diesen so ziemlich alle auf der Erde vorkommenden Urstoffe als vorhanden aufgezeigt hat, nicht auch im Weltraume kleine Massen, gemischt aus Sauer- und Wasserstoff, ihr Wesen treiben, die bei der niedrigen dort herrschenden Temperatur natürlich nur in gefrornem Zustande existieren können und bei der mit dem Fallen in unserer Lufthülle verbundenen Erhitzung zwar zum teile aber doch nicht gänzlich schmelzen? A priori wird diese Erklärung niemand als ungereimt bezeichnen können, wohl aber erblicken wir darin mit Sprung**) „eine Auffassung, welche der innigen Beziehung der Hagelfälle zu anderen atmosphärischen Erscheinungen (Wind, Gewitter, Luftdruckverteilung) durchaus widerspricht". Schwedof müsste jede Antwort auf die Frage schuldig bleiben, weshalb denn durch die für die Verhältnisse im freien Weltraume doch sicherlich belanglosen Wirbelbewegungen unserer Atmosphäre gerade immer die Eismeteorite zum Herabstürzen gebracht werden. —

Nur mit wenigen Worten streifen wir noch die langsame Ausgleichung der Elektrizität zwischen Erde und Atmosphäre, weil durch diesen Prozess die Meteorologie nicht merkbar berührt wird. Hierher gehören das St. Elms-Feuer,***) das Polarlicht und — nach älterer Anschauung — das Irrlicht. Die erstgenannte Erscheinung

Teile des Tornodos der Achse wieder zugeführt werden, so dass sie mehrfach den mit Tropfen überkalteten Regens oder auch mit kleineren Hagelkörnern gefüllten Innenraum, sowie die Nebelregion der Umgebung passieren; die Hagelsteine bestehen alsdann aus einer Anzahl Schichten, in denen gefrorener weicher Schnee mit solidem Eise abwechselt".

*) Sobald die Abweichung von der oblongen Form nur darin besteht, dass auf sphärisch gekrümmter Basis ein massiver Kegel aufsitzt, kann man sich an die Erklärung von Reynolds halten, welcher zufolge, sobald Tropfen und Eiskörner von verschiedener Grösse durch einander gemischt auftreten, die grösseren, rascher fallenden, auf die kleineren aufschlagen. Das erste Zusammenfliessen der Wolkenelemente zu festeren Körpern lässt Ley durch die Elektrizität bedingt sein; auch die Sohnckesche Hypothese scheint hiefür eine befriedigende Interpretation zu liefern. Nach Lodge geht man in dem projektreichen Amerika sogar mit dem Gedanken um, künstliche Elektrizitätserregung nebelzerteilend und regenbildend wirken zu lassen.

**) Sprung, S. 323.

***) Der heilige Elm (verketzert aus Erasmus) gilt als Schutzpatron der Schiffer.

besteht in einem schwachen Lichtscheine, der an den Enden spitzer Gegenstände — Schiffsmasten, Turmspitzen — hie und da sichtbar wird und das langsame Ausströmen der Elektrizität manifestiert. Plinius war mit diesem Phänomen wohl bekannt; er hatte erfahren, dass solche Lichtbüschel einmal an den aufrecht gehaltenen Lanzen der Soldaten beobachtet worden waren. Was das Polarlicht angeht, so haben wir dasselbe bereits als das „Gewitter höchster Breiten“ kennen gelernt; nur in dieser Eigenschaft, und weil neuerdings die Lehre vom Erdmagnetismus zur Meteorologie in immer engere Beziehungen tritt, soll ihm hier wenigstens eine Randnote*) gewidmet sein. Vom Irrlicht endlich lässt sich nach dem Stande unseres dermaligen Wissens ungemein wenig sagen. Die Schule Voltas sah in dieser unsteten, am Boden zitternden Lichterscheinung einen elektrischen Glühprozess, andere Naturforscher wollten wissen, dass es sich um eine Selbstentzündung der aus sumpfigem Boden aufsteigenden Gase handle. Später glaubte die gewaltig in „Aufklärung“ machende Naturwissenschaft recht klug zu thun, wenn sie diesem Phänomen wie den angeblich vom Himmel gefallenen Steinen gegenüber das Verhalten des Vogels Strauss beobachtete und die ganze Sache kurzweg negierte; erst so gewichtige Autoritäten wie Humboldt und Bessel**) verhalfen der einfachen Wahrheit wieder zur Anerkennung.

*) Ob die Alten schon vom Nordlicht etwas wussten, ist trotz mancher vielleicht nach dieser Richtung hin interpretierbarer Äusserungen bei Plinius, Tacitus u. a. mehr denn zweifelhaft; sehr schön und klar wird dasselbe dagegen in den altnordischen „Sagas“ geschildert. Unter einem rein wissenschaftlichen Gesichtspunkte sammelte alles zu dieser Zeit über das Nordlicht bekannte Mairan in seinem „Traité de l'aurore boréale“ (2. Aufl., Paris 1754); ein musterhaftes Kompendium gleicher Tendenz ist „Das Polarlicht“ von Fritz (Leipzig 1881), und minder umfassend, aber dafür durch die Mitteilung eigener Forschungsergebnisse vollauf entschädigend ist des Finländers Lemström Werk „L' aurore boréale“ (Paris 1886). Das Wort Polarlicht ward herrschend, nachdem dem bis dahin allein bekannten Nordlicht oder Nordschein durch die Beschreibung der Cookschen Weltreisen auch ein Südlicht zur Seite gestellt worden war. Lange Zeit begnügte man sich damit, diese eigentümliche, bald Strahlen schiessende, bald farbige Draperien bildende, bald auch die Luft nur mit unbestimmter rötlicher Färbung (Nordlichtdunst) durchdringende Erscheinung auf die Spiegelung und Brechung des Lichtes an den weiten Eisflächen der Polarzone (Eisblink) zurückzuführen; Triewald ersann ein Experiment zur künstlichen Nachbildung der Nordlichtkrone, und noch neuerdings sind Versuche zur Wiederauffrischung dieser für ihre Zeit gar nicht so übeln, heute aber völlig überlebten Theorie gemacht worden, deren völliges Misslingen Pechuel-Lösche überzeugend nachgewiesen hat. Gegenwärtig gibt die grosse Mehrzahl der Fachmänner es zu, dass das Polarlicht (s. o.) einen magnetisch-elektrischen Ausgleichungsprozess zwischen den verschiedene Vorzeichen tragenden Elektrizitäten der Luft und Erde darstellt; die letzten Zweifel hätte A. E. v. Nordenskioelds Entdeckung heben müssen, dass die Entfernung des Ortes, an welchem ein Polarlicht sich bildet, vom magnetischen Erdpole die Erscheinungsform des ersteren wesentlich mitbestimmt. Lemström aber, sowie später den Dänen Paulsen und Tromholt, glückte es, durch ein auf dem Gipfel höherer Berge des Nordens isoliert angebrachtes Drahtnetz mit zahlreichen Auffangstangen Lichterscheinungen hervorzubringen, die nicht nur dem Aussehen nach ganz an Polarlichter erinnerten, sondern auch bei spektroskopischer Prüfung ihre Identität mit jenen nicht verleugneten.

**) Bessel hatte, als er Inspektor der auf einem Moorgefilde gelegenen Sternwarte Lilienthal bei Bremen war, vielfach Gelegenheit zu eigener Beobachtung von Irrwischen.

Allein obwohl man auch sonst zuverlässige Beobachtungen über Irrlichter von Knorr, La Selve, Filopanti u. a. hat*), ist es doch bislang nicht zu einer einigermassen annehmbaren Hypothese über deren Ursprung gekommen, und auch wir müssen uns mit diesem negativen Resultate bescheiden.

Wir wollen am Schlusse dieser unserer Erörterungen über atmosphärische Elektrizität nun nochmals kurz die Frage behandeln, ob durch das Vorhandensein eines elektrischen Potentiales in der Luft deren Gleichgewichts- und Bewegungszustand irgend wesentlich beeinflusst werde. Dass wir hiebei von der statischen Elektrizität ganz absehen dürfen, versteht sich von selbst. Allein auch die dynamisch-elektrischen Erscheinungen sind rein sekundär, sie kommen entweder, wie wir sahen, infolge besonderer Erwärmungszustände oder aber in Konsequenz gewisser Wirbelbewegungen in der Atmosphäre zustande; der Blitzschlag bewirkt zwar eine rasche Trennung und Wiedervereinigung der Wolkenmassen, allein ohne jedwede nachhaltige meteorologische Wirkung, mag auch seine Wirkung terrestrischen Objekten gegenüber eine noch so gewaltige sein. Und kaum anders verhält es sich mit dem Hagel. Somit darf man beruhigt den folgenden Satz aussprechen:

Die dynamische Meteorologie hat u. a. auch die Pflicht, die Erscheinungen der Gewitterelektrizität als Ausfluss gewisser mechanischer Prozesse nachzuweisen; eine Rückwirkung der elektrischen Entladungsvorgänge auf den Bewegungszustand der Atmosphäre ist dagegen nur in äusserst untergeordnetem Grade vorhanden, und es darf sonach von diesem Faktor bei unseren ferneren Untersuchungen vollkommen abgesehen werden. —

Nicht viel anders wird das Fazit ausfallen, welches wir aus unseren Betrachtungen über den Zusammenhang zwischen den Luftbewegungen und dem Stande der Weltkörper, also über kosmische Meteorologie, zu ziehen haben.**) In der geschichtlichen Einleitung ward bereits erwähnt, dass astrometeorologische Träume, wahrlich nicht zum Heile der Wissenschaft, nur allzulange Zeit diese beherrscht haben. Korrekter Fragestellung hinsichtlich der Möglichkeit, ob Himmelskörper — ernstlich in Frage kommen können natürlich nur zwei derselben, der uns so nahe Mond und die mit kolossaler Masse begabte Sonne — attraktiv die Lufthülle der Erdkugel zu beeinflussen vermögen, begegnen wir zuerst in einem Universitätsprogramm Segners;***) später haben Frisi, Alexis und Eugen Bouvard und vor allem Eisenlohr, auf die in der „Mécanique céleste“ von Laplace entwickelten, allgemeinen Formeln

*) Vgl. wegen dieser Angaben: Cornelius, Grundriss der physikalischen Geographie, Halle 1886. S. 204 ff.

**) Wir beziehen uns hier wesentlich auf unsere eigene, die vorhandene Litteratur nach Möglichkeit ausnützende Schrift „Der Einfluss der Himmelskörper auf Witterungsverhältnisse“ (2. Auflage, Nürnberg 1884). Nicht minder möchten wir jedoch dem Leser die einschlägige Darstellung im ersten Bande des van Bebberschen Handbuches empfehlen, zumal die sehr prägnant gefassten Übersichten (S. 258 ff.).

***) J. A. Segner, De mutationibus aëris a luna pendentibus, Jena 1733.

gestützt, den Betrag der durch die tägliche Bewegung des Mondes im Verlaufe von 24 Stunden zweimal hervorgerufenen Lunarflut der Atmosphäre berechnet und überaus klein gefunden. Dass die Luftkugel unter der Anziehungskraft des Mondes sich ebenso in ein Ellipsoid verwandeln muss, dessen grosse Achse durch die gerade den Mond im Zenit und Nadir habenden Punkte hindurchgeht, wie dies auch für unsere Wasserhülle gilt, ist ja ganz unbestreitbar; die mit einem Wegströmen der Luft von der Erde verbundene Luftauflockerung bedingt auch eine zeitweilige Erniedrigung des Barometerstandes, und insofern kann man wohl behaupten, dass in der wechselnden Höhe des Quecksilbers im Barometer jene Lunarflut sich ebenso abspiegeln müsse, wie sich die Wasserflut an den Pegeln und Mareometern der Hafenplätze abspiegelt. Dies alles ist unbestreitbar, nur handelt es sich eben um die Grösse der Veränderungen, und der Fehler der einzig und allein mit den atmosphärischen Gezeiten rechnenden Prognosten, unter denen wir Mathieu de la Drôme, Falb, Overzier und v. Friesenhof namhaft machen wollen,*) liegt blos in der von ihnen beliebten Überschätzung des quantitativen Elementes. Auf der anderen Seite sollte man aber den Einfluss des Mondes auch nicht gar zu gering achten, denn unter sehr niedrigen Breiten, wo die atmosphärischen Veränderungen mit grosser Regelmässigkeit vor sich zu gehen pflegen, kann die kleine Variation des Barometerstandes, an welcher der Mond die Schuld trägt, sich immerhin geltend machen. Dies haben u. a. Sabine auf St. Helena, Elliot in Singapore deutlich erkannt, und auch die Beobachtungen des damals von Neumayer geleiteten Flagstaff-Observatoriums (Australien) fallen zu gunsten eines positiven Einflusses der Mondgravitation in die Wagschale. Andere meteorologische Elemente hat man ebenfalls daraufhin geprüft, ob in ihren Variationen ein Einfluss des Mondes zu erkennen wäre, wobei selbstverständlich die Wärmewirkung unseres Trabanten ganz und gar bei seite gelassen werden durfte.**) Dass aber

*) Wenn wir diese vier Namen gemeinsam nennen, so soll nichts weniger als auf eine Gemeinsamkeit der von deren Trägern aufgestellten Behauptungen in den Einzelheiten angespielt werden; nur darin stimmen sie überein, dass sie im Monde den obersten Regulator für alle Witterungsveränderungen anerkennen. Relativ den höchsten Standpunkt nimmt zweifellos v. Friesenhof ein, der sich auch stets von unwürdiger Rancune gegen die exakte Wissenschaft frei gehalten hat, und dessen Bestrebungen daher auch von jener zu achten, wennschon freilich niemals zu billigen sein werden. Der Genannte ist auch — gleich Falb — mit Energie dafür eingetreten, dass in dem Entstehen der verderblichen bösen Wetter in Bergwerken sich eine mit dem Mondlaufe korrespondierende Periodizität offenbare. Eine nach unserer Ansicht zweckentsprechendere Untersuchung von E. Suess hat ergeben, dass der Gasgehalt der Grubenluft im allgemeinen bei steigendem Luftdruck zu-, bei fallendem Luftdruck abnimmt, dass ferner die Neigung zur Bildung von Schlagwettern keineswegs von der absoluten Grösse der Minimalordinate der Luftdruckkurven abhängig ist, wohl aber der Gehalt an schädlichen Gasen zu dem mehr oder minder schroffen Anstiege jener Kurve in Kausalbeziehung steht. Von da jedoch bis zu den Behauptungen v. Friesenhofs ist noch ein weiter Weg, den nicht jeder wird gehen wollen!

**) Den mit gewaltigen Hilfsmitteln ins Werk gesetzten Versuchen La Hires und des Barons Tschirnhaus zum trotze war es lange nicht möglich, auch nur Spuren von Wärme in dem von den Indern ausdrücklich als „kalt“ bezeichneten Lichte des Erdsatelliten nachzuweisen; dies gelang vielmehr erst

dessen Phasen in einer gewissen Beziehung zu Windrichtung und Windgeschwindigkeit stehen, scheint aus den Arbeiten von K. Lindemann und E. Leyst entschieden hervorzugehen; der letztere hat in St. Petersburg jedesmal vor dem Vollmonde eine besonders geringe, nach demselben eine besonders grosse Windgeschwindigkeit wahrgenommen. Auch die Gewitterhäufigkeit verrät nach Schiaparelli eine lunare Beeinflussung, wogegen dieser gründliche Forscher eine solche weder in den Regenmengen noch in der Regenhäufigkeit nachzuweisen vermögend war.*) Wohl aber scheint wieder, dem gleichen Gewährsmanne zufolge, die Bewölkung sich dem Monde gegenüber nicht ganz neutral zu verhalten, was Liznar bestätigt: Die Bewölkung nimmt, so sagt derselbe, sichtlich zu, wenn der Mond sich über den Horizont erhebt, sie nimmt ab, wenn derselbe untergeht**), und sie ist zur Zeit des Vollmondes grösser als zu der des Neumondes. All dies zusammengenommen berechtigt uns vielleicht dazu, die Behauptung von Streintz als allzu skeptisch erscheinen zu lassen, dass der Mond auf Luftdruck, Regen und Wind keinen mit unseren Instrumenten und Beobachtungsmethoden während eines Zeitraumes von zwanzig Jahren nachweisbaren Einfluss ausübe, wir sind aber keineswegs gezwungen, den Schlussatz zu modifizieren, mit welchem wir seinerzeit unsere bezüglichen Betrachtungen über Lunarmeteorologie beendeten, und der, mit einer kleinen Änderung, nachstehenden Wortlaut (a. a. O., S. 25) hat:

Die lunarischen Gezeiten sind nicht stark genug, um erhebliche Veränderungen im Bewegungszustande unserer Lufthülle von sich aus zu bewirken, wohl aber stark genug, um schon vorhandene Bewegungsvorgänge leicht unterstützend und hemmend zu beeinflussen und auch unter günstigen Verhältnissen, wie sie sich etwa zwischen den Wendekreisen darbieten, messbare Oszillationen des Barometers hervorzubringen. Die Niederschlagsquanta erscheinen der Mondbewegung gegenüber durchaus indifferent, wo-

dann, als man die in einem mächtigen Hohlspiegel konzentrierten Mondstrahlen auf den feinen Melonischen Thermomultiplikator wirken liess. Doch kann es gleichwohl recht gut sein, dass diese Strahlen erst beim Durchgange durch unsere Atmosphäre sehr viel Wärme einbüssen, und es wäre deshalb ratsam, nach den von Pouillet und Langley für solare Strahlen gegebenen Regeln die vom Mondlichte bis an die äussere Grenzfläche unserer Lufthülle mitgebrachten Wärmevorräte zu berechnen.

*) Hinsichtlich der Niederschläge macht van Bebber ein etwas weitergehendes Zugeständnis als Schiaparelli. Ersterer sagt (a. a. O.): „Die Regenkurve steigt im allgemeinen im ersten Viertel und zweiten Oktanten nach dem Vollmond hin, erreicht hier ein Maximum und fällt dann verhältnismässig rasch gegen das letzte Viertel hin. Im Perigaeum ist, entsprechend der grösseren Luftdruckschwenkung, die Regenhäufigkeit grösser als im Apogaeum.“

**) Liznars Bestimmung steht, wie man sieht, im konträrsten Gegensatze zu dem vulgären, merkwürdigerweise jedoch auch von Arago aufrechterhaltenen Glauben, das Mondlicht wirke in der Atmosphäre „löcherbildend“. Ironisch meinte Köppen mit Recht, unsere Atmosphäre müsse in diesem Falle, da ja unzählig viele Gesichtslinien von den einzelnen Beobachtern nach dem Monde gezogen werden können, aus lauter Löchern sich zusammensetzen; jede solche Gesichtslinie müsste ja auf eine Öffnung treffen.

gegen Regenhäufigkeit, Windrichtung, Windstärke und der Grad der Wolkenbedeckung von den Stellungen des Mondes — in unbedeutendem Masse — abhängig erscheinen. Dabei darf ebensowohl den an der oberen Grenze unserer Atmosphäre verschluckten dunklen Wärmestrahlen des Mondlichtes wie auch den zweifellos*) vom Körper unseres Begleiters ausstrahlenden magnetisch-elektrischen Kräften eine gewisse, wenn schon graduell unerhebliche und ihrer Art nach noch nicht näher bekannte Einwirkung zugeschrieben werden.

Was von der Schwerewirkung des Mondes gesagt ist, gilt in nur quantitativ beträchtlich vermindertem Masse auch für die Schwerewirkung der Sonne, die sonach höchstens dann, wenn sie sich zu derjenigen des Mondes hinzugesellt,**) ein ganz bescheidenes Plus oder Minus der barometrischen Variation zuwegebringen kann. Da, wie erwähnt, andere Himmelskörper als die beiden genannten überhaupt nicht ernstlich auf ihre etwaige meteorologische Bedeutung geprüft zu werden brauchen***), da ferner die von der Sonne unserem Erdball zugeschickte Wärme von vornherein, weil sich auf sie die allermanigfaltigsten Temperaturdifferenzen des Erdbodens und der Luft sich zurückführen, als eigentliche Triebkraft bei allen meteorologischen Umwälzungen von nahezu jedermann anerkannt wird, so bleibt uns nur noch übrig zu untersuchen, ob nicht vielleicht die variable Frequenz der Sonnenflecke die Emission der Sonnenwärme und damit indirekt auch diesen oder jenen unter den atmosphärischen Faktoren nachhaltig zu beeinflussen vermöge.

Diese Frage muss eine naheliegende sein, denn sie wurde sofort von Baliani, einem Freunde des grossen Galilei, aufgeworfen, nachdem es letzterem mittelst des soeben neu konstruierten Fernrohres gelungen war, die „maculae solis“ zu erkennen (1610). Doch traten eigentliche Forscher der Frage erst später näher, namentlich von dem Zeitpunkte an, da an der Periodizität der Fleckenfrequenz nicht mehr gezweifelt werden durfte. Von 1850 an beschäftigte sich Rudolf

*) Im 3. und 5. Bande der Wiener Sitzungsberichte findet man die Dokumente vor, welche Kreil es ermöglichten, die magnetische Deklination und Horizontalkomponente als Funktionen der Mondstellung zu erweisen.

**) Je nachdem die Mittelpunkte von Sonne, Mond und Erde in annähernd grader Linie stehen (Syzygien) oder ein im Monde rechtwinkliges Dreieck bilden (Quadraturen), unterscheidet man an den Küsten die energischen Springfluten und die schwächlichen Nippfluten. Auch die atmosphärischen Gezeiten werden natürlich diesen Gegensatz im kleinen aufweisen.

***) Der einst in üppiger Blüte gestandene Kometenaberglaube fristet heutzutage sein Dasein nur noch im verborgenen; nur darin spricht er sich noch aus, dass Kometenjahre für besonders gute Weinjahre gelten. Ermans Ansicht, dass ein Vorübergang von Sternschnuppen vor der Sonnenscheibe die auffälligen Maifröste provoziere, hat um so eher aufgegeben werden müssen, da (s. u.) eine einfachere und auf lediglich tellurische Agentien bezug nehmende Erklärung für jenen Kälterückfall gegeben werden konnte. Pilars Behauptung, dass durch tangential an der Erdatmosphäre vorüberstreifende Meteorite jener fortwährend Bestandteile entzogen werden, ist zwar zutreffend, allein der Verlust ist doch ein zu minimaler, um sich jemals fühlbar machen zu können.

Wolf damit, die Dauer der Sonnenfleckenperiode auszumitteln,*) und es stellte sich dann auch heraus, dass nach Umfluss von je $11^1/_9$ Jahren — eine spätere Revision der Rechnungen setzt dafür genauer 11,111 Jahre — diese Flecke in derselben Verteilung über die Sonnenoberfläche wiederkehren. Nahe gleichzeitig hatten Lamont und Sabine für die Deklination der Magnetnadel eine ziemlich gleichlange Periode erhalten, und so wurde denn in dem nämlichen Jahre 1852 völlig unabhängig durch Sabine, Wolf und A. Gautier der höchst merkwürdige Parallelismus im Verlaufe der die Fleckenfrequenz und den Gang der magnetischen Missweisung darstellenden Kurven nachgewiesen. Die Erde bleibt nicht unberührt von der momentanen Beschaffenheit der solaren Photosphäre, das stand jetzt fest, und den Bemühungen derer, welche in der Aufsuchung solcher Wechselbeziehungen zwischen Sonne und Erde weiter zu gehen beabsichtigten, konnte wenigstens kein ungünstiges Prognostikon gestellt werden. Zunächst versuchte man an die Stelle der Deklination eines der beiden anderen erdmagnetischen Bestimmungselemente treten zu lassen, und von Hansteen, viel bestimmter allerdings aber erst in unseren Tagen von Liznar ist dargethan worden, dass auch die Neigung und beide Komponenten der Intensität in ihrem Verlaufe jene Periode von etwas mehr denn 11 Jahren hervortreten lassen. Auch die Polarlichter, eine vom Erdmagnetismus, wie wir sahen, durchaus abhängige Erscheinung, können sich dem Einflusse der Sonne nicht entziehen; es spricht sich in ihnen nach Fritz**) sowohl eine kleinere Periode von 11 als eine grössere Periode von $5.11 = 55$ Jahren aus, und beide Perioden erreichen mit der Periode der Sonnenflecke gleichzeitig ihr Maximum und Minimum. Die Neigung zur Nordlichtbildung wäre auch, wenn Tacchini recht hat, stets dann eine besonders ausgesprochene, wenn am Sonnenrande sich recht viele Protuberanzen (wahrscheinlich Wasserstoffgas-Eruptionen) bemerklich machen. Nunmehr wollen wir denn auch die eigentlich meteorologischen Faktoren nach einander Revue passieren lassen und zusehen, ob sie sich der Sonnenperiode gegenüber neutral verhalten oder nicht.

Sonnenhöfe und Nebensonnen treten nach Tromholt und Fritz dann am häufigsten auf, wenn die Sonnenflecke ihr Maximum erreicht haben. Über den Zusammenhang zwischen solaren Flecken und irdischer Wolkendecke lehnt van Bebber ein bestimmtes Urteil ab, doch glauben wir mit H. J. Klein***) immerhin annehmen zu dürfen, dass die

*) Die Vergleichung erfolgte mittelst der von Wolf eingeführten „Relativzahlen“, deren nähere Beschreibung uns hier zu weit abführen würde.

**) Die Preisschrift von Fritz, welcher wir diese Notiz entnehmen (Die Beziehungen der Sonnenflecke zu den meteorologischen und magnetischen Erscheinungen, Haarlem 1878), verarbeitet ein gigantisches Material und bildet auch für uns im folgenden die Leitschnur. Vgl. aber auch Hahn, Ueber die Beziehungen der Sonnenfleckenperiode zu meteorologischen Erscheinungen, Leipzig 1877.

***) Die Forschung über Zirruswolken und ihre Periode wird von Klein seit geraumer Zeit eifrig betrieben. Derselbe hat unlängst versucht, grössere Kategorien von Freunden der Wissenschaft für planmässig in seinem Sinne anzustellende Beobachtungen zu interessieren, und die von ihm in seiner „Wochenschrift für Astronomie, Meteorologie und Geographie“ als erste Rate publizierten Beobachtungsergebnisse lassen diesen Plan als einen wohl durchdachten erscheinen.

Zirruswolken zahlreicher in den Jahren der Sonnenfleckenmaxima als in den Jahren der Sonnenfleckenminima vorkommen. Die elektrischen Lufterscheinungen hat v. Bezold genau untersucht und eine gewisse — allerdings nicht unmittelbar in die Augen springende — Relation zwischen den gestaltlichen Verhältnissen der Gewitterkurve und der Kurve der Fleckendichtigkeit aufgefunden; auch fand sich, dass einem Maximum der Sonnenflecke im allgemeinen ein Minimum von zündenden Blitzen entspreche und umgekehrt. Diese auch von Gutwasser bestätigten Thatsachen zwingen übrigens keineswegs zur Postulierung einer direkten elektrischen Wechselwirkung zwischen Sonne und Erde, vielmehr kann der Zusammenhang möglicherweise blos eine einfache Folge der von der Fleckenbedeckung abhängigen Stärke der Sonnenstrahlung sein. Die Häufigkeit der Hagelfälle geht unzweifelhaft mit derjenigen der Sonnenflecke parallel, und zwar scheint sich in ihrem Verlaufe auch jene fünfundfünfzigjährige Periode mit abzuspiegeln, welche verschiedenen Indizien zufolge (s. o.) die elfjährige in sich begreift. Ältere Untersuchungen von Kreil, Lamont, Hornstein u. a. über die Abhängigkeit des Luftdruckes von der Fleckenhäufigkeit haben zu keinem widerspruchsfreien Ergebnisse geführt, wohl aber hat sich ein solches bei den Forschungen des ausgezeichneten angloindischen Meteorologen Blanford über die Luftdruckverteilung oberhalb des Südostens von Asien gefunden. Dort spricht sich die Periode von elf Jahren unverkennbar aus, und zwar gehört immer zum Fleckenminimum ein Druckmaximum. Nun ist freilich nicht zu leugnen, dass, wenn über Hinterindien aus irgendwelchen Gründen ein solch regelrechtes Wechselspiel zwischen Zyklonen und Antizyklonen waltet, auch andere Teile der Erde in Mitleidenschaft gezogen werden müssen, da ja doch die Zuflüsse von anderswoher kommen und die Abflüsse anderswohin gehen müssen; bis jetzt scheint derartiges nur für das asiatische Russland sich nachweisen zu lassen, wo wirklich die Extreme im Stande des Barometers die umgekehrten von den im indischen Tropengebiete beobachteten sind.*) Jedenfalls darf man, wenn es sich so verhält, die Hoffnung hegen, auch im Wehen der Winde Spuren unserer Periodizität hervortreten zu sehen. Für die gemässigten Zonen zwar lässt sich vorläufig noch nichts sicheres aussagen, die Zusammenstellungen von Main und Baxendell gewähren höchstens eine einstweilige Andeutung, aber unter den für das Studium meteorologischer Gesetzmässigkeit überhaupt die günstigste Grundlage darbietenden Tropen lässt sich die Sache auch diesmal wiederum besser an. Meldrum, der Vorstand der auf der Insel Mauritius errichteten Wetterwarte, hatte sich lange eingehend mit den furchtbaren Wirbelstürmen im indischen Ozean beschäftigt und 1872 als einen aus vieljähriger Erfahrung geschöpften Satz den ausgesprochen, dass die

*) Untersuchungen über das Wandern der Luftmassen von einer Erdstelle zur anderen, wie sie hier in frage kommen, können dadurch sehr gefördert werden, dass man, wie es unlängst Kleiber vorschlug, Karten in „aequivalenter“ oder „flächentreuer“ Projektion zugrunde legt, auf welchen die Arealverhältnisse der abgebildeten Oberflächenteile unverändert bleiben. Diese Karten sind verdienstlich, allein sie lassen noch den Umstand unberücksichtigt, dass ja die Kontinente als mächtige Plateaux aus dem Wasser empor- und in die Lufthülle hineinragen.

dortigen Zyklonen dann am seltensten wüten, wenn die Sonne wenig, und dann am häufigsten, wenn sie recht viele Flecke hat. Von Poëy und Piddington ward für das westindische und chinesische Meer ganz dasselbe nachgewiesen; Hunter hat die Berichte der Gesellschaften für Schiffsversicherung zur Verifizierung des Meldrumschen Satzes herbeigezogen. Für die Drehstürme wie für die Windstärke überhaupt erachtet auch van Bebber den Einfluss der Fleckenfrequenz als sicher gestellt. Da die an Zyklonen reichen Jahre auch durch starke Niederschläge ausgezeichnet zu sein pflegen, so ist damit eine neue Beziehung zwischen Sonne und Witterung gegeben; im übrigen erklärt Fritz es nicht für möglich, irgend eine Gegenseitigkeit periodischen Charakters zwischen den Sonnenflecken und der atmosphärischen Feuchtigkeit ausfindig zu machen. Hinsichtlich der Temperatur wird die Anführung eines merkwürdigen, von Köppen erzielten Resultates genügen. In neuerer Zeit, etwa vom Jahre 1816 an, stimmen die Temperatur- und die Fleckenkurve in ihrer Konfiguration sehr gut mit einander überein, während ein früherer vierzigjähriger Zeitraum gerade das umgekehrte Verhalten beider Linien bekundet. Ob diese Umkehrung etwa selbst wieder einen periodischen Charakter habe, so dass etwa im kleinen die (ausgezogene) Temperaturkurve und die (gestrichelte) Fleckenkurve so im Laufe der Jahrhunderte nebeneinander hergehen, wie es Fig. 39

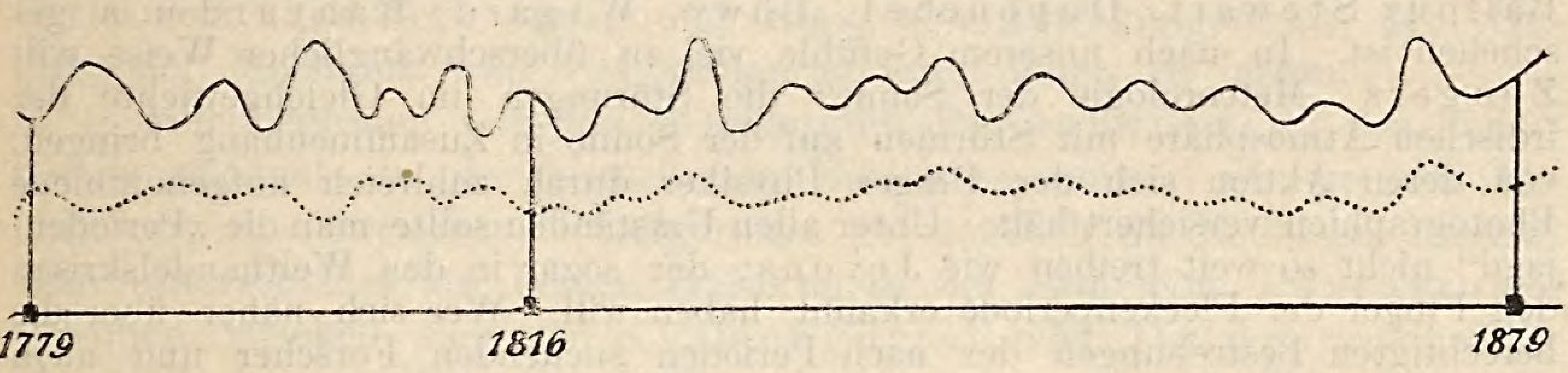


Fig. 39.

ersichtlich machen will, muss den Untersuchungen unserer Nachkommen zur Entscheidung vorbehalten bleiben. Periodizität ist nach Köppen im Temperaturgange nicht zu verkennen, die Zahl 11 aber scheint für denselben durchaus nicht die einflussreiche Rolle zu spielen, zu welcher sie sonst berufen ist. In den strengen Wintern, deren meteorologische Bedeutung zuerst von Wolfers hervorgehoben ward, nimmt Köppen eher das Walten einer Periode von 45 Jahren wahr.*) Die Schwan-

*) Für anderweite Forschungen über längere Zeiträume zitieren wir das von Sprung (S. 368) gegebene Resumé: „Anhangsweise möge ferner noch bemerkt werden, dass sich verschiedentlich Andeutungen für die Existenz noch anderer Perioden ergeben haben; so fand Wild (nach den Beobachtungen von 1759 bis 1872) eine ungefähr 29jährige Periode der Temperatur zu St. Petersburg, Hornstein eine 70jährige Periode des Luftdruckes zu Prag, Mailand, Wien und München (in Uebereinstimmung mit einem gleichen Gange der Nordlichter und Sonnenflecke), H. H. Clayton jr. eine 25monatliche Periode des Luftdruckes in Nordamerika, Gould eine 18jährige Periode der Windstärke zu Buenos Aires, Buys Ballot eine mit der Rotationsdauer der Sonne übereinstimmende Temperaturperiode zu Haarlem und Zwanenburg.“ Archibald glaubt eine 10 bis 11jährige generelle Wetterperiode herausgefunden zu haben. Vorläufig sind

kungen des Ozongehaltes hat Moffat zu der Maximal- und Minimalbedeckung der Sonne mit Flecken in Beziehung setzen wollen, Fritz aber hat letztere nicht so allgemein bestätigt gefunden, wie es beim Vorhandensein eines wirklichen Naturgesetzes notwendig wäre, und zudem müssen wir uns auch aus dem ersten Hauptstück erinnern, dass es eine vergleichbare Messungen ermöglichende Ozonometrie überhaupt gar nicht gibt. Wohl aber kann zugegeben werden, dass manche nicht eigentlich der Meteorologie zuzurechnende Erscheinung in ihrem Oszillieren zwischen gewissen Grenzen auf die variable Fleckenfrequenz der Sonne hinweist; eine summarische Übersicht über hieher zu rechnende Erscheinungen gibt die Randnote.*) Unser Gutachten über die Ein-

diese Regelmässigkeiten wesentlich nur auf statistischem Wege als solche erkannt worden, und dem ganz gesicherten Besitzstande der Wissenschaft sind sie eigentlich erst von dem Augenblicke an einverleibt, da man auch einen Einblick in den Kausalzusammenhang erhalten hat. Nun fehlt es zwar nicht an Versuchen, auch einen solchen zu eruieren, allein dieselben bewegen sich noch in unsicherem Tasten. Perioden sind denkbar bei jeder Auffassung, die man sich vom Wesen der Wallungen in der Sonnenatmosphäre gebildet hat, mag man nun mit Lamey an eine blos passatartige Zirkulation — Zöllner und Spörer danken wir die Kenntnis ausgesprochener Driftbewegungen auf der Sonne — oder mit v. d. Gröben an geysirähnliche Explosionen mit darauf folgendem Ermattungszustande denken, oder mag man endlich den Planetenstellungen einen gewissen Einfluss zuschreiben, wie dies in neuerer Zeit von Balfour Stewart, Duponchel, Löwy, Wigard, Ranyard u. a. geschehen ist. In nach unserem Gefühle viel zu überschwänglicher Weise will Zengers „Meteorologie der Sonne" die Störungen im Gleichgewichte der irdischen Atmosphäre mit Stürmen auf der Sonne in Zusammenhang bringen, von deren Aktion sich der Prager Physiker durch zahlreich aufgenommene Photographien versichert hält. Unter allen Umständen sollte man die „Periodenjagd" nicht so weit treiben wie Jevons, der sogar in den Welthandelskrisen den Finger der Fleckenperiode erkannt haben will. Wer sich näher über die berechtigten Bestrebungen der nach Perioden suchenden Forscher und auch über deren Extravaganzen unterrichten will, nehme zur Hand die Schrift v. Czernys „Die Veränderlichkeit des Klimas und ihre Ursachen" (Wien 1881).

*) Zunächst ist an die hydrologischen Untersuchungen über die Wasserstände der Flüsse und grosse Seen zu erinnern, welche Stände nach Hill, Fritz, Dawson und Powell zur Zeit der Fleckenmaxima verhältnissmässig hoch, zur Zeit der Fleckenminima verhältnissmässig tief sein sollen. Reis glaubt auch in den Überschwemmungen des Rheines eine elfjährige Periode nachgewiesen zu haben, und sein Beispiel fand Nachahmung, indem Katzerowsky mit grossem Eifer die archivalischen Nachrichten über Hochfluten in Böhmen in gleichem Sinne zu verwerten suchte — freilich nach einer Methode, durch deren Anwendung schliesslich für alle und jede Behauptungen der statistische Nachweis erbracht werden könnte. Die Eisverhältnisse der Polarmeere sollen nach v. Schleinitz mit der Fleckenfrequenz sich ändern, so dass man von einem Jahre nur zu wissen brauchte, das wievielte in der Wolfschen Periode es ist, um sich auch sogleich vergewissern zu können, ob das Jahr für einen Vorstoss nach dem Pole hin günstige oder ungünstige Aussichten darbiete. Fester fundiert erscheinen die analogen Untersuchungen über die Schwankungen des Gletschereises, denn wenn Fritz auf grund umfänglicher Beobachtungsregister sich zu dem Wahrscheinlichkeitsschlusse ermächtigt sieht, dass bei lebhafter Aktion in der Sonnenatmosphäre das Vorrücken, bei matter Aktion das Schwinden der Ferner die Regel ist, so steht dieser Schluss nicht mehr isoliert da, sobald wir ihn mit der von E. Richter und C. Lang festgestellten Thatsache in Verbindung bringen, dass ebenso wie Jahresreihen von feuchtem und trockenem Typus auch Jahresreihen von progressiver und regressiver Tendenz im Gletscher sich ausprägen. Die Häufigkeit der seismischen

wirkung des soeben besprochenen kosmischen Faktors aber fassen wir in folgenden Worten zusammen:

Da der wechselnde Reichtum der Sonnenphotosphäre an Flecken die irdische Temperatur in einer periodischen Zeitfolge von längerer Dauer, Luftdruck, Windstärke und lokale Stürme in einer solchen von kürzerer Dauer messbar beeinflusst, so lassen sich Probleme der meteorologischen Dynamik denken, bei deren Bearbeitung auch auf den aktuellen Stand der Fleckenfrequenz Rücksicht genommen werden muss. Im allgemeinen aber wird, wenn es sich nicht um klimatologische Untersuchungen sondern um spezielle Bewegungsfragen handelt,*) der allfalsige Einfluss der Sonnenflecke mit gleichem Rechte ausser acht gelassen werden dürfen wie derjenige des Mondes.

Damit ist für unsere Hauptaufgabe reiner Tisch gemacht. Die eingeschalteten Abschnitte über statische und dynamische Luftelektrizität sowie über die Beziehungen zwischen Astronomie und Meteorologie haben den besonderen Zweck erreicht, den Leser mit diesen an sich wichtigen Spezialkapiteln der atmosphärischen Physik, soweit nötig, vertraut zu machen, zugleich aber verleihen sie uns die Berechtigung, uns jetzt, wo wir uns der Betrachtung der grossen atmosphärischen Zirkulationen zuwenden, einzig und allein von Erwägungen aus dem Gebiete der Mechanik und von keinen anderen leiten zu lassen.

Wir beginnen mit den sogenannten Passatwinden, von denen bereits zweimal, in der historischen Einleitung sowohl wie bei der Erläuterung des barischen Grundgesetzes gelegentlich die Rede sein musste. Man unterscheidet auf beiden Halbkugeln der Erde eine Passatzone, zwischen welchen sich der Kalmengürtel oder Doldrum hinzieht, innerhalb dessen völlige Windstille mit schwachen, veränderlichen Winden abwechselt. Die Lage der Passatregionen diesem trennenden Gürtel gegenüber ist keine ganz symmetrische; annähernd liegt die eine zwischen 12⁰ und 35⁰ nördlicher, die andere zwischen 5⁰ und 30⁰ südlicher Breite, so dass die Kalmenzone mehr Terrain von der Nord- als von der Südhalbkugel beansprucht. Es sind auch die angegebenen Grenzen insofern keine festen, als sich fragliche Zone, der Ort stärkster Erhitzung

und vulkanischen Reaktionen eines noch dazu immer noch hypothetischen Erdmagmas gegen die feste Rinde zur Häufigkeit der Sonnenflecke in Konnex bringen zu wollen, wie dies Poëy und Kluge versuchten, dünkt uns als ein bestenfalls sehr verfrühtes Beginnen. Höchst beachtenswert ist dagegen ein von der Autorität des Direktors der Berliner Sternwarte, W. Förster, bezeugter Umstand. Der Pfeiler des Hauptinstrumentes ist in Berlin, wie bei anderen Observatorien auch, unmittelbar aus dem Grunde aufgemauert, steht also mit dem Gebäude selbst in keinerlei Kontakt und kann demzufolge auch nicht an den sanften Tagesschwankungen teil nehmen, welchen unter dem Einflusse wechselnder Insolation alles Mauerwerk ausgesetzt ist; gleichwohl oszilliert er in elfjähriger Periode langsam hin und her. Ein gleiches beobachtete Gould bei seiner Sternwarte in Argentinien.

*) Dabei handelt es sich nämlich meist um kürzere Zeitabschnitte, höchstens um Monate, und während deren kann der Stand der Fleckenbedeckung als so gut wie unveränderlich gelten.

und kräftigster Luftauflockerung, mit dem wechselnden Sonnenstande selbst ein wenig auf der Erde hin- und herschiebt.*) An diesen Gürtel grenzen zu beiden Seiten, zwischen 30⁰ und 40⁰ Polhöhe liegend, die Zonen der sogenannten Rossbreiten, die sich besonders auf dem freien Meere durch ihren hohen Luftdruck kennzeichnen. Abgesehen von ihnen kann man im wesentlichen jede Hemisphäre in drei Zonen einteilen: in die Kalmenzone, soweit sie hier mitzurechnen ist, in die Passatzone, deren polwärts gelegener Teil, subtropische Zone genannt, nur zeitweise, nämlich in der warmen Jahreszeit, in den Passatgürtel mit aufgenommen wird, und endlich in die Zone (oder besser Kugelhaube) von der äussersten Polgrenze der Passate bis zum Pole selbst, eine Region vorherrschender Westwinde. Die von Hann konstruierten Isanemonen (Linien gleicher mittlerer Intensität der Windströmung) stimmen in ihrem Verlaufe mit den Begrenzungen gedachter Zonen bis zu einem gewissen Grade überein, die Area höchsten Luftdruckes über dem nördlichen Atlantik (30⁰ bis 45⁰ westlicher Länge von Greenwich) hat nur sehr schwache Winde. Zusammenhängend äussert sich die Passatzone nur oberhalb des atlantischen und stillen Ozeans, oberhalb der Kontinente verliert sie ihren auszeichnenden Charakter, weil da allerorts besondere aufsteigende Luftströme sich bilden, und im indischen Meere tritt, wie wir schon wissen, an die Stelle der Passate das Spiel der Monsunwinde.

Dem Wesen nach ward der Gegensatz zwischen Ober- und Unterpassat bereits oben berührt, als es sich um die Anführung geeigneter Beispiele zur Verständlichmachung der Thatsache handelte, dass durch lokale Temperaturdifferenzen eine Zirkulationsbewegung in der Atmosphäre eingeleitet werden könne; jetzt liegt es uns ob, der Sache mehr auf den Grund zu gehen. In der die heissesten Teile der Erdoberfläche umfassenden Kalmenzone bildet sich ein aufsteigender Luftstrom, welcher aspirierend nach beiden Seiten hin wirkt, so dass unten an der Erde fortwährend Luft in den entstandenen Hohlraum ein- und zugleich in grösserer Entfernung von der Erde ebenso unausgesetzt die früher erhitzte und nach und nach wieder erkaltende Luft gegen die Pole hin abströmt; die Achsendrehung der Erde bringt unaufhörlich die bewusste Rechts- und Linksablenkung — je nach der Halbkugel — zuwege und so stellt sich als allgemeine Regel für die Bestimmung der Richtung der Passatwinde diese heraus: Der Unterpassat ist auf der Nordhalbkugel Nordost, auf der Südhalbkugel Südostwind; der Oberpassat ist auf der Nordhalbkugel Südwest-, auf der Südhalbkugel Nordwestwind. So ein-

*) Untersuchungen über die Grenzen der Kalmen- und Passatregion haben Kerhallet und Horsburgh angestellt; wenn aber der letztere die Breite der Kalmenzone so gering ansetzt, wie er es thut — im Herbst 6⁰40′, im Frühling 4⁰2′, im Sommer 8⁰5′, im Winter 3⁰20′ —, so scheint er der Passatzone eine aequatoriale Ausdehnung zu erteilen, die sehr in Widerspruch mit der gewöhnlichen Anschauung steht. Im Pazifik ist die Lage der Kalmenzone dem Aequator gegenüber eine ziemlich symmetrische, im Atlantik wird von ihr die Nordhemisphäre stark bevorzugt. Der stille Ozean verdient auch insofern seinen Namen, als über ihm, entgegengesetzt dem atlantischen, die Veränderlichkeit der Passatgrenzen eine sehr geringfügige ist.

fach, wie es in diesem Schema zum Ausdrucke gelangt, und wie man es lange Zeit auch im Anschlusse an Hadley, Kant und später Dove annahm, gestalten sich die Dinge nun freilich in Wirklichkeit nicht; erstlich geht der Oberpassat, den man wohl auch Anti- oder rückkehrenden Passat nennt, vielfach zu rein westlicher Richtung über, was man namentlich auf dem Gipfel des Piks von Tenerifa direkt, sonst aber am Zuge der Zirruswolken erkennen kann, und zweitens senken sich Luftmassen aus dem oberen Passat viel früher zur Erde herab, als sie es der strengen Theorie nach sollten, und tragen zur Verstärkung der Unterströmung bei. In dieser Hinsicht haben die der Anordnung nach uns schon bekannten Versuche Vettins schon manchen Beitrag zur Klärung geliefert; sie stellen es jedermann deutlich vor Augen, dass die Richtung des zurückkehrenden derjenigen des einströmenden Passates keineswegs diametral entgegengesetzt ist, sondern vielfache Abänderungen erleidet. Auch erhellt aus ihnen, dass zwischen Passat und Antipassat immer rein westliche Partialströmungen eingeschaltet sein müssen. Im allgemeinen kann man sagen, dass sich das Wehen der Passatwinde auf der südlichen Halbkugel in grösserer Reinheit darstellt als auf der nördlichen, weil auf dieser letzteren die stärkere Reibung der Luft an der Erde und die ungleiche Erwärmung der Landmassen verschleiernd wirken.

Die Passatwinde schienen die wechselvollen atmosphärischen Bewegungen in solchem Masse zu beherrschen, dass Dove sich autorisiert fühlte, diese letzteren als Bestandteile eines einzigen grossen Passat-Zirkulationssystemes der Erde zu definieren. Er nahm an, dass der Antipassat nur innerhalb einer gewissen, wenig über die Wendekreise hinausgreifenden Zone oberhalb des Unterpassates dahinströme, später senke sich jener herab und fliesse neben diesem hin, so jedoch, dass jeder Strömung nicht stets einunddaselbe sondern ein veränderliches Bette angewiesen wäre. Ein gewisses Luftquantum fliesse zwischen zwei Punkten A und B eines Parallelkreises dem Pole zu und nachher zwischen zwei Punkten C und D des nämlichen Parallelkreises vom Pole zurück, so jedoch, dass Bogen AB = Bogen CD wäre. Solange der Bogen AB von derselben Strömung ausgefüllt ist, herrscht auf ihm nach Dove beständiges Wetter, warmes, wenn ein Aequatorialstrom, kaltes, wenn ein Polarstrom über AB weggeht; wechselnde Witterung wird erst dann eintreten, wenn Aequatorial- und Polarströmung innerhalb desselben Gebietes einander bekämpfen, sich wegzudrängen suchen, AB in CD eingreift. Dieser Kampf in Verbindung mit der Erddrehung, deren Einfluss von Dove allerdings auch nicht ganz richtig abgeschätzt ward, bedingt ferner den Wechsel in der Windrichtung. Für die Nordhalbkugel soll sich dieselbe im Sinne einer Regel ändern, welche ihrerzeit grosses Aufsehen machte, das Jugendalter der Wetterprognose bestimmte und namentlich im Vaterlande ihres Urhebers — die anderen germanischen Länder hatten sich ihrem Bannkreise schon früher entwunden — bis in die sechziger Jahre ihre Herrschaft behauptete. Mit kurzen Worten lässt sich das Dovesche Winddrehungsgesetz so aussprechen: Auf der Nordhalbkugel pflegt der Wind im Sinne des Uhrzeigers umzusetzen,

auf der Südhalbkugel im entgegengesetzten. Wenn also bei uns gegenwärtig Westwind weht, ist es nach Dove ungleich wahrscheinlicher, es werde sich dieser Wind demnächst in Nordwest, als er werde sich in Südwest verwandeln. Die Passate betrachtete man als besonders einfachen Fall dieses Gesetzes. Da nun zudem für Mitteleuropa, welches wenigstens damals den in meteorologischer Beziehung best bekannten Teil der Erde bildete, statistische Erhebungen im ganzen zu gunsten des Uhrzeiger-Drehsinnes ausfielen und auch aus anderen Ländern Bestätigungen der Regel gemeldet wurden*), so war die Zustimmung der Fachwelt zu der anscheinend so einfachen Ordnung in die verwickelten Verhältnisse bringenden Doveschen Regel nicht zu verwundern. Allerdings überzeugte sich Dove selbst in manchen Fällen, dass seine Theorie nicht ausreiche, so bezüglich der winterlichen Nordwestwinde Nordamerikas, welche sich in seinem Systeme nicht recht unterbringen lassen wollten, und die er deshalb als Monsun auffassen zu müssen glaubte, und in seinen letzten Lebensjahren — er starb 1879 — musste er sehen, wie die neu aufblühende synoptische Meteorologie mehr und mehr seinen Schematismus durchbrach. Es ist sehr belehrend, wegen dieses Umschwunges die einander folgenden Jahrgänge der österreichischen meteorologischen Zeitschrift zu vergleichen, in welcher zumal Hann, der auf Berücksichtigung der Feuchtigkeitsverhältnisse

*) Eine treffliche Orientierung gewährt Supans „Statistik der unteren Luftströmungen“ (Leipzig 1881), welchem in der Hauptsache das grossartige in englischer Sprache abgefasste Werk über die Winde der Erde als Vorarbeit diente, zu welchem Coffin die Materialien, Woeikow den erklärenden Text geliefert hat. Die Drehung der Winde hat sich Augustin zum Gegenstande der Forschung ausersehen. In Europa sind, wie er feststellt, komplizierte Drehungsverhältnisse die Regel, einfache die Ausnahme, doch gehören die Orte, für welche die Umdrehung konsequent gegen den Uhrzeiger erfolgt, ausschliesslich Nord- und Osteuropa (Norwegen, Ostseebecken, Jütland, Mittelrussland und die Gebiete zwischen Ostsee und Karpathen) an; vereinzelt wiesen ein analoges Verhalten Madrid, Mailand, Reggio und Corfu auf. Leipzig, München, Dublin, Paris haben während der einen Jahreshälfte rechts, während der andern links drehende Winde. Für Mittel- und Südamerika trifft Doves Regel gewöhnlich zu, nur Buenos Aires weicht konstant davon ab; ein Gebiet ersterer Art hat Zöppritz nach v. Zichys Papieren in der Somali-Küste nachgewiesen. Im australisch-indischen Meere aber wiegt, Batavia und Adelaide ausgenommen, der Drehsinn mit dem Uhrzeiger vor, was, da es sich ja hier um die Südhemisphäre handelt, der Winddrehungsregel weit weniger entspricht. Man muss hiebei freilich auch die im klimatologischen Teile meritorisch zu behandelnde tägliche Periode der Windrichtung beachten, welche die Winddrehung gar nicht unerheblich beeinflusst. Genau untersucht ist dieser Einfluss noch nicht, doch darf man mit Sprung (S. 345) es für wahrscheinlich halten, dass auf unserer Halbkugel für das flache Land der Wind die Tendenz hat, vormittags mit dem Uhrzeiger, nachmittags gegen denselben umzugehen, während auf Berggipfeln diese Tendenz für Vor- und Nachmittag sich umkehrt. Auf der anderen Halbkugel tauschen im vorigen Satze flaches und bergiges Land ihre Stellen. Wenn man also statistisch Belege zu gunsten des Doveschen Gesetzes oder zu dessen Widerlegung sammelt, wird man niemals versäumen dürfen, die Tagesstunde mit anzugeben, zu welcher die Notierung erfolgte, da sonst die Angaben leicht gerade das Widerspiel von dem beweisen können, was sie beweisen sollen. Ob bei den gewiss sehr mühevollen Untersuchungen Augustins, auf welche wir uns im vorstehenden zu beziehen hatten, schon auf die Tageszeiten gebührend Rücksicht genommen ist, geht aus dem Texte allerdings nicht hervor und muss dahingestellt bleiben.

drang und die Abstammung des feuchten „Aequatorialstromes" aus der Kalmengegend nicht einsehen zu können erklärte, den Kampf gegen die Dovesche Suprematie mit Geschick und stets sich steigerndem Erfolge zu führen begann. Das Winddrehungsgesetz ist beseitigt, ohne dass man ihm auch jetzt noch eine regionale Berechtigung abstreiten könnte, und auf jeden Fall repräsentiert es eine hochinteressante Durchgangsphase der menschlichen Erkenntnis, über welche spöttisch die Achseln zu zucken einen unglaublichen Mangel an Sinn für das geschichtliche Werden verraten würde; selbst den Thatsachen (s. u.) würde dies nicht entsprechen.

Ja in neuester Zeit ist Dove Anerkennung bedingter Art von einer Seite her geworden, von welcher es anscheinend am wenigsten zu erwarten gewesen wäre. Sein Gedanke, sämtliche Bewegungsvorgänge innerhalb des Luftkreises als Bethätigungen eines einzigen grossen Zirkulationsprozesses aufzufassen, hat etwas grosses und berechtigtes an sich, und die dynamische Meteorologie hat denselben in ihrem Bestreben, überall nur Zyklonen und Antizyklonen von beschränkter Ausdehnung zu erblicken, zu sehr vernachlässigt. In freilich sehr veränderter Form wird dieser Gedanke*) in den Arbeiten von Ferrel**) und Werner Siemens***) wieder aufgenommen, und auch in dem Werke

*) Nahe gelegt wird uns derselbe neuerdings durch den gewiss nur von wenigen vorher für möglich gehaltenen Umstand, dass ein der Atmosphäre erteilter starker Anstoss sich rasch durch deren ungeheure Ausdehnung hin verbreitet. Es geschah dies bei dem Ausbruch des Krakatau-Vulkanes im August 1883, allerdings einer so gewaltigen Katastrophe, wie die Erdgeschichte seit der mesopotamischen (biblischen) Sintflut keines mehr aufzuweisen gehabt hat. Die von dem Stosse ausgelöste Luftwelle, welche sich an den registrierenden Barometern einer grossen Anzahl von Stationen — u. a. Münchens (s. o.) — durch eine auffällige Diskontinuität der Luftdruckkurve kundgab, umkreiste nach Scott die Erdkugel in 36 Stunden; Rykatschew berechnet ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu 328 m pro Sekunde, und da dies mit der Geschwindigkeit des Schalles (s. o.) nahe zusammenstimmt, so scheint letztere überhaupt das Normalmass für das Fortschreiten der Luftwellen abzugeben. Übrigens verblieb es nicht beim einmaligen Umwandern der Erde, in Berlin konstatierte man dreimalige Wiederkehr der gigantischen Woge, bis zum 4. September zitterte die Erschütterung in den Instrumenten nach, und im optischen Abschnitte werden wir sehen, dass manche Anzeichen für eine noch längere Nachwirkung sprechen.

**) Ferrel, Meteorological Researches for the Use of the Coast Pilot, 1. Teil, Washington 1877; 2. Teil, ebenda 1880. Eine Übersicht über die in diesem wichtigen, grösserer Verbreitung würdigem Werke niedergelegten neuen Ansichten gab Sprung im 17. Bande der Österr. meteorol. Zeitschrift.

***) W. Siemens, Über die Erhaltung der Kraft im Luftmeere, Sitzungsbericht d. k. preuss. Akademie d. Wissenschaften vom 4. März 1886. Wir gehen auf eine eingehendere Darlegung der Grundzüge dieses originellen Systemes der atmosphärischen Zirkulation aus dem Grunde nicht näher ein, weil uns die Erörterung desselben vorläufig noch den wissenschaftlichen Zeitschriften vorbehalten bleiben zu müssen scheint. Man kann einstweilen nur sagen, dass es bei seinem ersten Bekanntwerden in meteorologischen Kreisen vielfach verblüffend wirkte, weil es allseitig anerkannten Annahmen entgegenzulaufen schien. Köppen jedoch hat in eingehender Analyse dargethan, dass der Widerspruch nur ein äusserlicher, scheinbarer ist, und dass die Theorien von Siemens und Ferrel in sehr wesentlichen Punkten sich decken. Erwähnt sei noch, dass Siemens' Verlegung der mittleren Rotationsgeschwindigkeit der Luft in die Gegend des

Sprungs*) spielt diese Identifizierung der ganzen Atmosphäre mit einem auf einheitliche Triebfedern hinweisenden Bewegungsmechanismus keine untergeordnete Rolle.

Ferrel bestimmte zuerst nach von ihm neu aufgestellten Formeln Mittelwerte für Jahrestemperatur und Luftdruckverteilung für die einzelnen Breitenkreise der Erde und erkannte so als charakteristische Form der Windbewegung allenthalben im wesentlichen die durch das Buys-Ballotsche Gesetz geforderte. Doch erschienen diese örtlichen Bewegungen wieder als Ausfluss eines allgemeinen Gesetzes, welches wir nachstehend mit den Worten Sprungs wiedergeben, und welches in Einer Beziehung — freilich aber hinsichtlich des Drehsinnes durchaus nicht übereinstimmend — an die Winddrehungsregel von Dove gemahnt. Ferrels Theorem lautet:

Die gesamte allgemeine Luftbewegung einer Hemisphäre repräsentiert einen grossen atmosphärischen Wirbel, in welchem die Zirkulation durch die konstanten Temperaturdifferenzen eingeleitet und unterhalten, durch die Erdrotation aber in bestimmter Weise modifiziert wird, und zwar so, dass die Rotation der Luftteilchen im inneren Gebiete des Wirbels in der gewöhnlichen Weise erfolgt: gegen den Uhrzeiger auf der nördlichen, mit demselben auf der südlichen Hemisphäre. Jeder der zwei Wirbel besitzt aber noch ein äusseres ringförmiges Gebiet mit entgegengesetzter Rotation; an der Grenze des inneren und äusseren Gebietes erfolgt durch die „Zentrifugalkräfte“ eine Anhäufung von Luft und eine entsprechende Vergrösserung des Luftdruckes.

Dieser Satz gewährt nun auch die Möglichkeit, manches zu erklären, was bei der ersten Erklärung der Passatwinde nur schematisch erläutert werden konnte. Sprung thut dies,**) indem er verschiedene hier nicht wiederzugebende Betrachtungen mathematischer Natur an das Ferrelsche Gesetz anknüpft, in folgender Weise. Zwischen den Wende- und Polarkreisen seien die Luftmassen des oberen von denen des unteren durch eine starre, unnachgiebige Niveaufläche, d. h. durch eine Fläche getrennt, auf welcher die Richtungen der Schwerkraft allenthalben senkrecht stehen; dann würden die äquatorwärts gerichteten Gradienten im unteren Raume durchweg kleiner sein als die polarwärts gerichteten Gradienten im oberen Raume. Nun gehe aber die Trennungsfläche in eine vollkommen nachgiebige Membran über; der Effekt wird der sein, dass die an der Erdoberfläche und in deren Nähe befindlichen Instrumente von der oberen zugleich mit der unteren Luftdruckverteilung betroffen werden, in mittleren und höheren Breiten wird sogar die obere Druckverteilung die Oberhand gewinnen, und die aequatorwärts gerichteten Gradienten werden sich auf das Tropengebiet beschränken. So

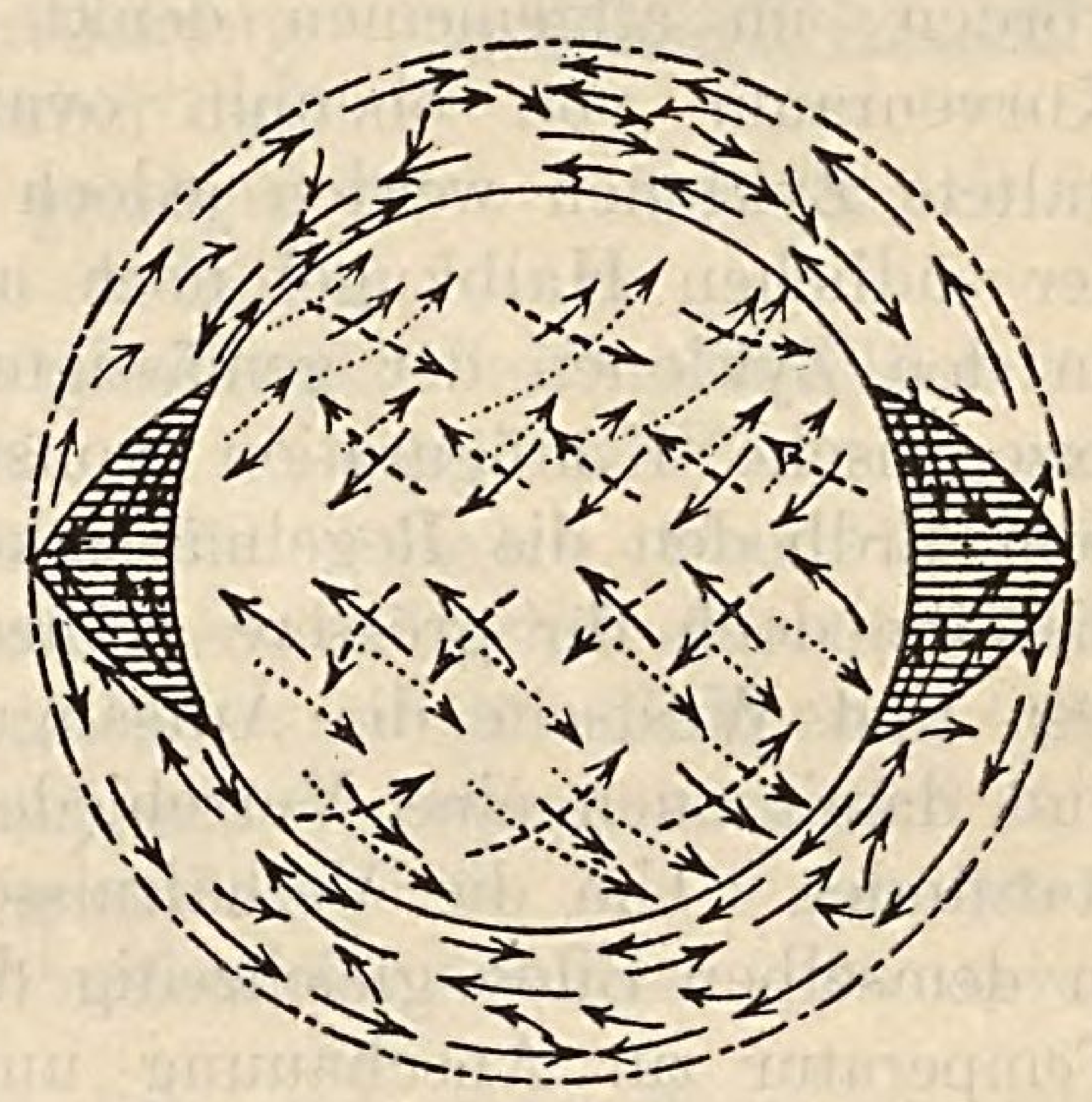
Paralleles von 35° von Kiessling mit Erfolg für seine Berechnung der Verbreitung des Krakatau-Rauches über die Erde hin verwertet worden ist.

*) Sprung, S. 192 ff. Dieser Darstellung ist unsere eigene nachgebildet.

**) Sprung, S. 201.

wird der Sachverhalt auch sein, wenn man von der trennenden Haut gänzlich abstand nimmt. Damit ist dann freilich das Paradoxon verknüpft, dass in den unteren Schichten der höheren Breiten die Luftteilchen sich gegen die — in allen Schichten dem Pole zugewendeten — Gradienten bewegen, ein Paradoxon, das wir ja um so eher hinnehmen dürfen, als das barische Gesetz nur der Erfahrung entnommen ist und niemals den Anspruch auf ausnahmslose, aprioristische Giltigkeit erhoben hat. Ebenso wie — davon war oben die Rede — die Luft auch einmal genau dem Gradienten folgt, ohne dass Buys-Ballots Gesetz durch diese Abweichung von der Regel eine schwere Schädigung erführe, ebenso sind verschiedene Fälle einer Luftbewegung gegen den Gradienten denkbar. Sprung beweist auch*), dass in der oberen Schicht einer Zyklone mit warmem Zentrum ganz wohl eine Bewegung ohne Gradienten möglich ist. Immer werden besondere Kräfte im Spiele sein müssen, wenn sich solch scheinbare Anomalien ergeben, und diese Kräfte aufzuzeigen, ist einerseits die Aufgabe des beobachtenden Meteorologen, andererseits die des Analytikers.

Wenn wir uns mit Rücksicht auf diese Ergebnisse ein Bild von der allgemeinen Zirkulation innerhalb der Atmosphäre entwerfen wollen, so kann dies nur dasjenige sein, welches Ferrel bereits vor längerer Zeit zeichnete, und welches wir in Fig. 40 vor uns sehen. Die voll ausgezeichneten Pfeile charakterisieren die in der Grundschicht vor sich gehenden Bewegungen, die gestrichelten entsprechen den unteren und mittleren, die punktierten den obersten Schichten; natürlich können nur diejenigen Komponenten der Bewegungen zur Darstellung gelangen, welche in die Meridionalebene der Zeichnung fallen.**) Die Zirkulation erscheint uns als eine Kombination zweier sich im Aequator berührender ungeheuerer Luftwirbel, innerhalb deren die Luftbewegungen in im allgemeinen symmetrischer Weise sich vollziehen. Die Bildung kleinerer Zyklonen, wie wir sie als die gewöhnliche Folge von Störungen des thermalen Gleichgewichtes


Fig. 40.

*) Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie, 1880, S. 608 ff.

**) Die Schraffur versinnlicht diejenigen Regionen, für welche in der Atmosphäre eine westwärts gerichtete Komponente die vorherrschende ist. Über Indien waltet nach Hildebrandsson stets das südwestliche Quartier, und in Zi-ka-wei hat Dechevrens durch Beobachtungen der Zirrusgebilde erkannt, dass die höheren Luftströmungen zu allen Jahreszeiten gegen Westen gerichtet sind. Dies spricht gegen die auch von Sprung widerlegte Meinung Ferrels, es sei unter höheren Breiten als 15° die Westbewegung auf die unteren Schichten, etwa bis zu 3 km Entfernung von der Erde, beschränkt. Sprung erinnert an den mehrfach beobachteten Transport von vulkanischer Asche.

kennen gelernt haben, vermag nun Ferrel ähnlich zu erklären, wie er das Zustandekommen der grossen Luftwirbel selbst erklärt, nur lässt sich dabei wiederum die Annahme nicht vermeiden, dass in dem oberen Teile einer gewöhnlichen Zyklone mit warmem Zentrum ein Ausströmen der Luft gegen den Gradienten erfolge. Beobachtungen von Hildebrandsson*) scheinen dieser Annahme eine starke Stütze zu verleihen. Übrigens liegen, obwohl die Generaltheorie Ferrels die wesentlichen Zyklonaleigenschaften deduktiv herzuleiten gestattet, noch manche der Aufklärung sehr bedürftige Widersprüche zwischen theoretischer und empirischer Erkenntnis vor, auf welche eine populäre Darstellung nicht eingehen kann, die sie aber auch zu verschweigen keinen Grund hat, da die Meteorologie noch lange keine „fertige“ Wissenschaft zu sein beansprucht und neu auftauchende Schwierigkeiten nur als willkommene Anlässe zur Erprobung des Scharfsinnes ihrer Mitarbeiter betrachtet. Das Sprungsche Werk weist überall darauf hin, wo der Hebel angesetzt werden muss; zu den noch dunklen Punkten gehört u. a. der Umstand, dass nach Ferrel um ein kaltes Zentrum herum eine Zyklone, nach der gewöhnlichen Auffassung aber eine Antizyklone sich bilden muss, sowie ferner die von der Theorie — wenigstens fürs erste — nicht bestätigte Erfahrung, wonach der Bannkreis der Antizyklonen grösser als derjenige der Zyklonen ist.

Von der Form einer Zyklone ist bisjetzt wohl kaum gesprochen worden; im allgemeinen denkt man sich darunter einen geschlossenen Kurvenraum von obenhin ovaler Gestalt. Regelmässig zirkular gestaltete Zyklonen werden jedoch immer eine grosse Seltenheit sein, auf der südlichen Halbkugel noch mehr als auf der nördlichen, und zumal an den Zyklonen der gemässigten Breiten wird man vielfach eine stark exzentrische Konfiguration konstatieren können.**) Wäre selbst nahe dem Erdboden die Regelmässigkeit eine ungewöhnlich grosse, so würde dieselbe doch für grössere Höhen keinen Bestand haben, weil auf der Ost- und Westseite die Aufsaugung verschieden temperierter Luftmassen und damit auch eine Verschiedenheit in der Abnahme des Luftdruckes stattfindet. Um die Verhältnisse klarer zu übersehen, brachte Möller in demselben Bilde gleichzeitig die Isobaren und die Ortskurven gleicher Temperatur zur Anschauung und bewies dadurch, wie durch die mit wachsender Breite gleichen Schritt haltende Abnahme der Temperatur ganz von selbst eine Deformation der Zyklonen eintreten muss. Die Besonderheit dieser Deformation wird von Sprung (a. a. O.) mit folgenden Worten gekennzeichnet: „In der Höhe sind die Gradienten an der Nordseite fast gänzlich verschwunden, und der unten vollkommen reguläre Wirbel repräsentiert sich dort nur mehr als eine Störung in dem allgemeinen westöstlichen Verlaufe der Isobaren oder, wie man es auffassen könnte, als ein Teilminimum, welches dem grossen, die allgemeine Zirkulation der Atmosphäre darstellenden Wirbel tributär ist. In den höchsten Schichten der Atmosphäre wird von der regelmässigen Zyklone der unteren Schichten überhaupt nichts mehr zu bemerken sein.“

*) Hildebrandsson, Atlas des mouvements supérieurs de l’atmosphère, Stockholm 1877.

**) Sprung, S. 218 ff.

Wenn nun auch schon für die überwiegende Anzahl der Luftwirbel eine beträchtliche Abweichung von der reinen Kreisform ausser Zweifel steht, so ist dies doch kein Hindernis dafür, dass unser Interesse aus leicht ersichtlichen Gründen sich besonders diesen regelmässigen Zyklonen zuwendet. Dies sind die uns bereits begegneten Tornados und Wettersäulen. Der Drehsinn in den Tornados lässt sich bei deren kleinem Durchmesser, welcher die irdische Rotationsgeschwindigkeit gegen die Winkelgeschwindigkeit fast ganz zurücktreten lässt, nicht durch eine generelle Betrachtung bestimmen, doch ergeben Finleys Beobachtungen*) wenigstens für Nordamerika die Analogie des Drehsinnes für kleine und grosse Zyklonen. Die mathematische Betrachtung lässt sich für ein in sich so abgeschlossenes System der Windbewegung wie wir es in einem Tornado vor uns sehen, mit verhältnismässig grosser Annäherung an die Wirklichkeit durchführen, und daraufhin gelingt es**), wie Fig. 41 zeigt, die theoretische Form der Tornados und Wettersäulen***) als diejenige eines Trichters mit langem, gegen die Erdoberfläche sich sehr allmählig verjüngendem Rohre zu erkennen. Wie Hagel und Regen nach Ferrel gerade nicht in der Achse dieses Schlauches sich bilden sollen, wo doch an sich die günstigsten Bedingungen für ihre Entstehung zu suchen wären, haben wir bereits früher bei der Registrierung der Hageltheorien gesehen. Jene heftigen Zirkulationsbewegungen, welche Hagelkörner und Regentropfen oben aus dem Schlauche herausschleudern und unten diesem wieder zuführen sollen, (s. o.) sind für Ferrel auch ausreichend, das zu erklären, was er einen Wolkenbruch†) nennt.

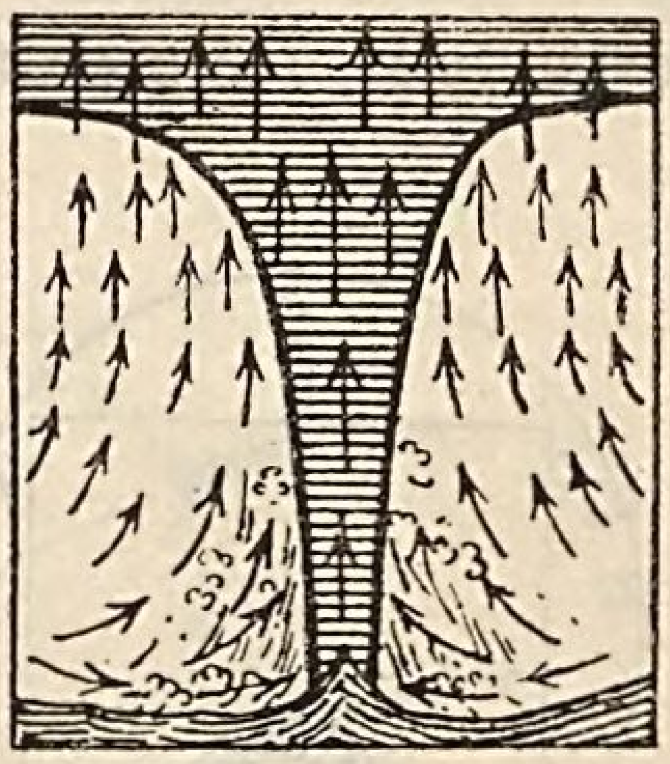


Fig. 41.

Eine Zyklone von der Art der beschriebenen wird sich nur dann länger in ihrer Eigenart erhalten können, wenn die Temperatur des Innenraumes diejenige der Umgebung namhaft übersteigt; dies wird auch im allgemeinen der Fall sein, am wenigsten aber für den Fuss, d. h. für die der Erde zunächst anliegenden Partien der Zyklone. Da zudem

*) Das Signal Office der Union lässt sich regelmässig aus allen Teilen des grossen Landes Berichte über stattgehabte Wetterstürme und von diesen angerichtete Verheerungen einsenden, die dann gesichtet und in Form regelmässig wiederkehrender Publikationen dem Publikum zugänglich gemacht werden. Dieselben sind sehr belehrend und mit trefflichen Abbildungen dieser merkwürdigen Luftgebilde ausgestattet. Vgl. auch des Verf. „Lehrbuch der Geophysik und physikalischen Geographie" (2. Band, Stuttgart 1885. S. 314).

**) Sprung, S. 223 ff.

***) Sowohl der genauen Beschreibung wie der konsequenten mechanischen Erklärungsweise wegen sehr zu empfehlen ist das Werk von Reye „Die Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen in der Erdatmosphäre" (Hannover 1872).

†) Ferrel will zwischen Wolkenbruch und heftigem Regengusse einen prinzipiellen, nicht blos graduellen Unterschied gesetzt wissen. Während bei letzterem das Wasser immer in Form von Tropfen zur Erde gelangt, sollen bei ersterem die durch Kondensation gebildeten kompakten Wassermassen durch die Kraft des aufsteigenden Luftstromes schwebend erhalten werden können, endlich aber, wenn die Zirkulationsgeschwindigkeit irgendwie nachlässt, ohne vorherige Auflösung in einzelne Tropfen herabstürzen.

dort die Reibung jedenfalls keine erhaltende Thätigkeit ausübt, so muss die Luftbewegung in den unteren durch die in den oberen Schichten konserviert werden, was wohl zu begreifen ist, wenn man annimmt, dass der Anstoss sich höher oben entwickelt und durch Reibung und Luftdruckverminderung nach unten fortgepflanzt hat. Die Frage, ob mit diesem Herabsenken der Trombe auch notwendig eine absteigende Bewegung der ganzen Luftmasse verbunden sein müsse, ist damit natürlich noch nicht im einen oder anderen Sinne beantwortet. Die erwähnten Experimente von Wilcke und Andries sind dieser Annahme nicht entgegen. Für die schliessliche Zerstörung der Trombe ist die Reibung an der Erdoberfläche massgebend, welche nur dadurch paralysiert werden kann, dass von oben her sich ein unaufhörlicher Erneuerungsprozess vollzieht, und dieser ist darin zu suchen, dass längs der Achse der oberen Hälfte einer Zyklone (Trombe, Wettersäule) Dampf zu Wasser kondensiert und durch die dabei frei werdende Wärme daselbst ein Temperaturüberschuss gegen die angrenzenden Teile erzeugt wird.*) Hierüber herrscht allerdings unter den Fachmännern noch nicht volle Einstimmigkeit, wie eine vor wenigen Jahren erst zwischen Reye und Hann geführte, sehr lehrreiche Polemik beweist. Wie schon bemerkt, ist man auch über den Bewegungssinn der im Innern des Trombenschlauches befindlichen Luft nicht völlig im klaren. Die Diskussion über diesen Punkt knüpfte indess nicht an die in unserer Erdatmosphäre, sondern an die in dem wallenden Glutmeere, das den Sonnenkörper bedeckt oder bildet, beobachteten Zyklonalbewegungen an, weil durch diese die Sonnenflecke und Sonnenfackeln erzeugt werden. Faye erklärte sich für eine absteigende, Reye für eine aufsteigende Bewegung**), und die Beobachtungen, welche Andries und Hirn an Wasserwirbeln anstellten, scheinen nur eine Deutung zu gunsten der erstgenannten Ansicht zuzulassen; auch Vettins Rauchversuche legen für diese ihr Gewicht in die Wagschale.***) Auch Sprung

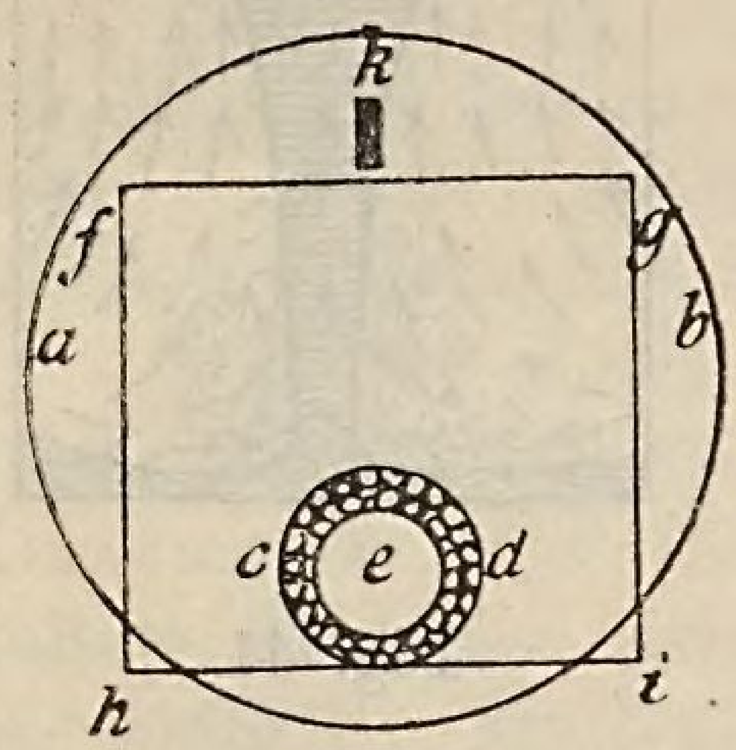


Fig. 42.

*) Sprung, S. 227 ff.

**) Der Satz, in welchem Reye (S. 177 ff. seines eben genannten Werkes) seine Ausführungen über solare Tromben zusammenfasst, lautet: „Die Sonnenflecke sind wolkenartige Verdichtungsprodukte in den unteren Regionen der Sonnenatmosphäre, welche sich ähnlich wie die grossen Wolkenschichten der irdischen Zyklonen von unten her erneuern.“

***) Um auch Tromben und Tornados, d. h. Luftwirbel, bei denen die vertikale Dimension der horizontalen gegenüber bedeutend vorwiegt, durch sein Verfahren herstellen zu können, sah sich Vettin zu einer Abänderung seines Apparates genötigt. Auf die Scheibe a b (Fig. 42) des Rotationsapparates wird eine kreisförmige, mit Eisstücken angefüllte Blechrinne c d so gestellt, dass in deren Zentrum e der eingeblasene Rauch mündet, und darüber wird der, durch ein Gegengewicht k äquilibrierte Glaskasten f g h i gestülpt. Die schraubenförmig aufsteigenden Rauchmassen bilden nach einiger Zeit die bekannte, kelchförmig sich erweiternde Spindel, in deren Innenraum man die Luft von oben nach unten sinken sieht. Wenn wir allerdings mit Ferrel und Sprung annehmen müssen, dass die Kondensation des Wasserdampfes in den höheren

ist, indem er die verschiedenen Momente für und wider einzeln prüft, zu der Überzeugung gekommen*), dass zumal auch die sonderbaren Feuchtigkeitsschwankungen, welche man an von einer Trombe überstrichenen Orten wahrnahm, nur durch einen absteigenden Luftstrom in der Achse des Wirbels ihre Erklärung fänden. Allerdings sei derselbe, und dies ist ja auch Reyes Ansicht, mit den Vorstellungen, welche wir uns sonst über die Dynamik der Zyklonen gebildet, nicht so ganz zu vereinbaren, und da ständen wir denn also wiederum vor einem Probleme, dessen in endgiltiger Versöhnung von Theorie und Beobachtung bestehende Lösung erst von der Zukunft zu erwarten ist.

Unter Umständen können die Luftwirbel, deren Konstitution zu erkennen uns noch immer nicht so ganz gelingen wollte, wie es an sich zu wünschen wäre, ganz enorme Dimensionen annehmen, und es werden dann jene unheilbringenden Wirbel- und Drehstürme daraus, welche die Schiffahrt in der heissen und teilweise noch in der subtropischen Zone so sehr zu fürchten hat, und für welche früher, vor der Ausbildung der mechanischen Windtheorie, die Bezeichnung Zyklone die einzig gebräuchliche gewesen ist. In der westindischen See nennt man dieselben Hurricanes**), in der indochinesischen Taifuns, im westlichen Teile des indischen Ozeans ist nach der dort liegenden Insel der Name Mauritius-Orkane im Schwange. Meistenteils schreiten diese tropischen Stürme auf bestimmten Bahnen dahin, welche in ihrer ersten Hälfte eine südöstlich-nordwestliche Richtung einhalten, in der Nähe des Festlandes aber eine Umbiegung von ungefähr 90° erleiden und sodann innerhalb der gemässigten Zone von Südwest nach Nordost sich hinziehen; vergl. Fig. 43. Minder regelmässig sind die

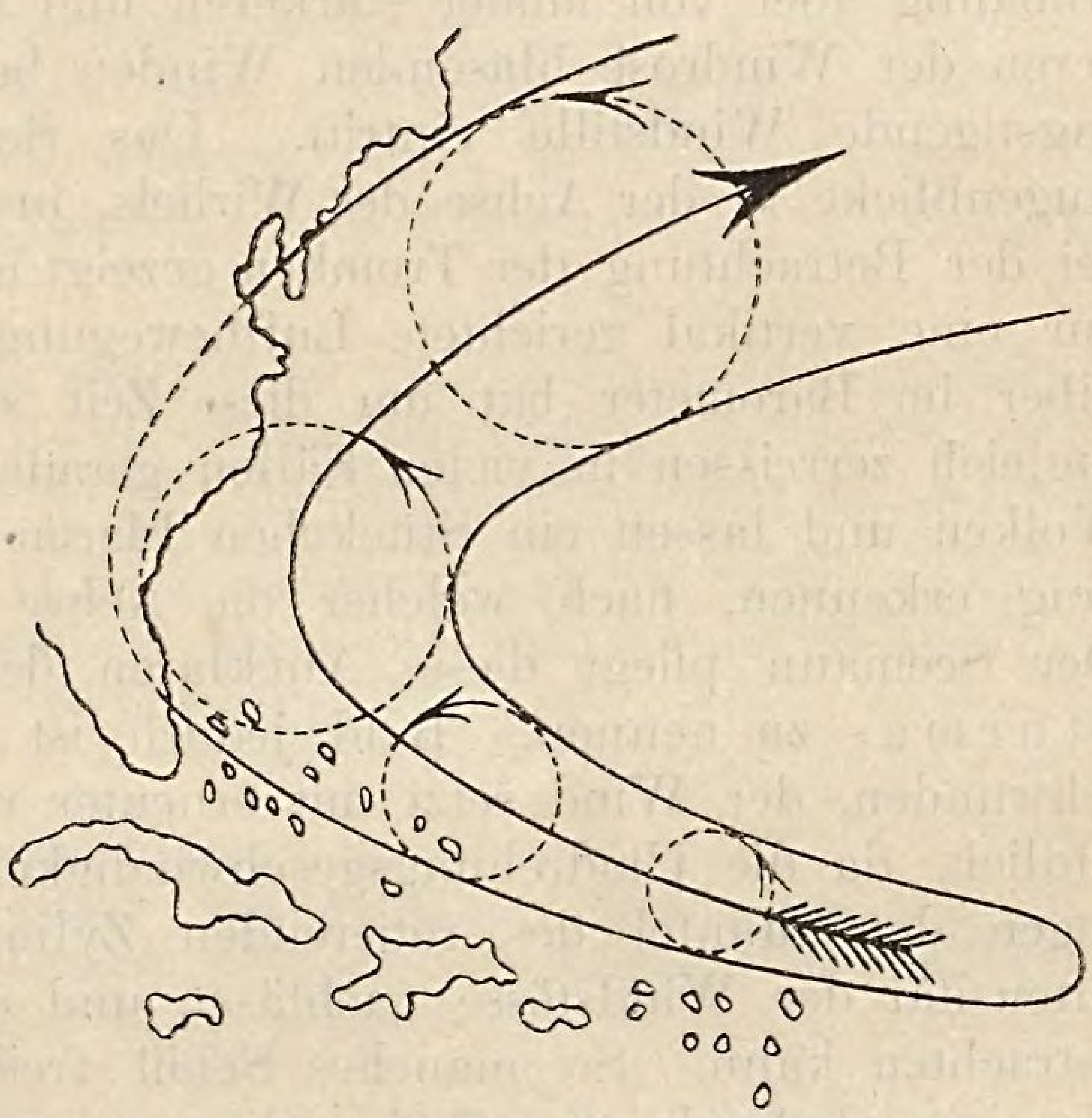


Fig. 43.

Regionen ein für die Gestaltung und Erhaltung der Trombe unentbehrliches Moment darstellt, so müssen auch die Vettinschen Versuche als in Einem Punkte unzulänglich befunden werden, über den freilich kaum die genialste Versuchsanordnung hinwegzuhelfen vermag. — Übrigens hat Vettin sogar für die Zirrokumulus-Wölkchen das Analogon in Rauch zu bilden gelehrt, indem er solchen in ein auf einem Tische mit niedrigen Wänden gebildetes offenes Viereck einblies.

*) Sprung, S. 241.

**) In den südlichen Staaten der Union, wo sich die Wettersäulen gar oft zu wirklichen Drehstürmen ausbilden, kennt man als Hurricanes nicht nur die Stürme selbst, sondern auch gewisse Walddistrikte, in denen dieselben ihre zerstörende Kraft entfaltet haben, und die deshalb durch umgeworfene Stämme vollkommen ungangbar geworden sind.

Bahnen der Taifuns gestaltet. Alle diese gewaltigen Zyklonen bevorzugen die warme Jahreszeit, auch wird (s. o.) ihr Auftreten einigermassen durch die Sonnenfleckenfrequenz geregelt. Den Wirbelcharakter solcher Orkane hatten schon seit dem Anfange dieses Jahrhunderts englische und amerikanische Seeleute richtig betont, und durch ihr Studium, an dem sich hauptsächlich Redfield, Piddington und der als Gouverneur der Bermudas-Inseln besonders dazu berufene Reid beteiligten, ist der Erkenntnis, dass ziemlich alle Luftbewegung eine zyklonale sei, mächtig vorgearbeitet worden, wie denn auch Reye besonders an die Arbeiten jener Männer anknüpfte. Die Drehung der Luft im Inneren eines solchen Wirbels ist die umgekehrte wie beim Doveschen Gesetze.

Wenn ein Schiff auf offenem Meere jähen Fall des Barometers wahrnimmt, so kann dessen Bemannung das Herannahen eines Sturmes und — in den gefährdeten Meeren — einer schlimmen Zyklone für sehr wahrscheinlich erachten und sich noch bemühen, aus deren Nähe wegzukommen. Gelingt dies nicht, so wird es zunächst von schwächeren, allmählig aber von immer stärkeren und aus den verschiedensten Quartieren der Windrose blasenden Winden betroffen, bis plötzlich eine beängstigende Windstille eintritt. Das Schiff befindet sich in diesem Augenblicke in der Achse des Wirbels, innerhalb deren, wie sich vorhin bei der Betrachtung der Tromben gezeigt hat, keine rotatorische sondern nur eine vertikal gerichtete Luftbewegung im Gange ist. Das Quecksilber im Barometer hat um diese Zeit seinen tiefsten Stand erreicht, zugleich zerreissen in vielen Fällen gerade jetzt die gewitterschwangeren Wolken und lassen ein Stückchen klaren Himmels gerade in der Richtung erkennen, nach welcher die Achse des Luftwirbels gerichtet ist. Der Seemann pflegt dieses Aufklaren des Himmels das Auge des Sturmes zu nennen. Bald jedoch ist dieser Lichtblick wieder verschwunden, der Wind setzt mit erneuter und vermehrter Kraft ein, bis endlich, da die Umdrehungsgeschwindigkeit im Wirbel von der Achse gegen den Mantel des rotierenden Zylinders hin abnimmt, auch die Intensität der Windstösse nachlässt, und das Fahrzeug sich als gerettet betrachten kann. So manches Schiff freilich fällt Jahr für Jahr dem Unwetter dadurch zum Opfer, dass es zuerst sein Steuer verliert und alsdann von den furchtbar aufgeregten Wogen von der Seite gefasst und zum Kentern gebracht wird; sind doch auch von unserer jungen deutschen Marine schon zwei Schiffe, „Frauenlob“ und „Augusta“*), auf diese Weise in den asiatischen Meeren zugrunde gegangen. Man hat deshalb schon seit geraumer Zeit seitens verschiedener Forscher und Seebehörden Vorschriften gegeben, durch welche das Manoeuvrieren vor und innerhalb der Zyklone erleichtert werden soll. Diese Regeln, wie sie Dove ursprünglich aufgestellt hatte, konnten freilich dem Bedürfnisse noch nicht genügen, aber heute hat man es in der Erkenntnis der

*) Indem Cloué (Comptes rendus de l'acad. franç., CII) den Juni-Taifun im Golf von Aden einer eindringenden Analyse unterwirft, kommt er zu dem Schlusse, dass die „Augusta“ hätte gerettet werden können, wenn ein regelmässiger wettertelegraphischer Dienst auf der Linie Obok-Perim-Socotra eingerichtet gewesen wäre. Siehe darüber unseren Anhang I.

Natur des Wirbels und damit auch in den Hilfsmitteln, die eine gute Schiffsführung anwenden kann, zu einer weit höheren Stufe gebracht.*)

Die Energievorräte, welche in einem Wirbelsturme der Tropenzone aufgespeichert sind, lassen die meisten anderen Kraftäusserungen, von welchen uns sonst die Naturlehre berichtet, weitaus hinter sich. Bei dem entsetzlichen Orkane, der die Antillen-Insel Barbadoes verwüstete, geschah es, dass die schweren Wallkanonen samt ihren Lafetten von der Mauer herab ins Hafenbassin geschleudert wurden.**) Lediglich diese potentielle Energie, die jeden Moment in aktuelle übergehen kann, gibt uns auch den Schlüssel zur Erklärung der Thatsache, dass solche Stürme mitunter sich äusserst zählebig erweisen und noch in weiten Entfernungen von ihrer Entstehungsstätte ihre Leistungsfähigkeit bewähren.***) Die Geschwindigkeit, mit welcher die achsialen Partien fortschreiten, wird im Durchschnitte auf 1000 m in der Minute veranschlagt. Was die Bewegungsrichtung anlangt, so ist diese bereits ihrem Grundzuge nach festgestellt worden; v. Bermann will ferner bemerkt haben, dass die Zyklone die grossen ozeanischen Luftdruckmaxima in der Richtung Nordwest-Nordost, resp. Südwest-Südost umkreisen.

Es ist nunmehr an der Zeit, dass wir unsere Betrachtungen über die Eigenart der einzelnen Zyklonformen sowie über die Struktur der atmosphärischen Wirbel im allgemeinen beenden und uns nun ganz

*) Über die Drehstürme im allgemeinen wie besonders über die Mittel, ihnen zu begegnen, orientiert Schücks Monographie „Die Wirbelstürme oder Zyklonen mit Orkangewalt“ (Oldenburg 1881). Nähere Nachweise s. im I. Anhang.

**) Der berühmte Geologe Eduard Suess legt in dem Einführungskapitel des gegenwärtig in der Ausgabe begriffenen Werkes „Das Antlitz der Erde“ den Wirbelstürmen des persischen Meerbusens ein sehr aktives Verhalten beim Zustandekommen jener gewaltigen Überflutung bei, welche vermutlich mit der noachischen Sintflut identisch ist. Der durch die Sonnenhitze brüchig gewordene Boden des Zwei-Stromlandes, so nimmt er an, war durch das mit dem Meere zusammenhängende Grundwasser weithin unterwaschen; als nun, mit einem Erdstoss und Wolkenbruche zeitlich zusammenfallend, eine Zyklone ein Stück des Festlandes abriss, drangen die Fluten gleichzeitig von drei Seiten ein: vom aufgeregten Meere her, aus den aufgezogenen „Schleussen des Himmels“ und endlich, ganz wie es mit der hl. Schrift übereinstimmend das assyrische Izdubar-Epos bezeugt, aus den Spalten des aufgeborstenen Landes selbst.

***) Es ist Harries in einem Einzelfalle geglückt, die Erstreckung einunddesselben Wirbelsturmes über einen Raum von etwa 270 Längengraden nachzuweisen. Der Taifun zeigte sich zuerst am 27. September in der Nähe von Manila, bog am 30. September südöstlich von Nipon gegen Nordost um, erreichte in langsamer Fortbewegung gegen den 9. Oktober hin den Aleuten-Archipel und erschien schon tags darauf mit stark vergrösserter Geschwindigkeit in Oregon. Dann passierte er das Felsengebirge, überstrich Canada, Labrador und die Davis-Strasse, blieb dort längere Zeit stationär, erholte sich aber durch die Vereinigung mit einem atlantischen Sturme bald wieder und wurde am 27. Oktober vom baskischen Meerbusen her an der Westküste Frankreichs gespürt. Am 1. November registrierten ihn noch schwach die baltischen Stationen, und dann erlosch er. An und für sich möchte der Einwand naheliegen, ob denn wirklich dieser Sturm ein einziger war, nicht etwa eine Vielheit von Einzelstürmen, allein nachdem uns die Gewittertheorie zu der Überzeugung verhelfen wird, dass nicht etwa eine gewisse Luftmasse sich durch die ruhende Atmosphäre fortbewegt, sondern dass lediglich oszillatorisch der einmal gegebene Anstoss sich fortpflanzt, fällt jener Zweifel weg, und es darf als sicher gelten, dass für die einen so riesigen Raum umspannende Bewegung Eine Grundursache bestimmend war.

einem Gebiete zuwenden, an dessen Grenze wir bereits durch den vorigen Absatz geführt worden sind. Wir sprachen dort, als von etwas sich von selbst verstehendem, von dem Fortschreiten der Wirbelstürme, wie schon früher von dem der Tornados, allein bei näherem Znsehen kann doch diese Ortsveränderung eines Wirbels, den wir bisher als etwas stabiles aufgefasst hatten, einer besonderen Untersuchung sehr bedürftig erscheinen. Und so werfen wir denn die Frage auf*): Worin besteht die Ortsveränderung eines Luftwirbels?

Ein solcher Wirbel ist immer an das Vorhandensein einer barometrischen Depression gebunden. Wenn also diese nicht stets an demselben Orte im Raume verbleibt sondern denselben unausgesetzt wechselt, so wird der Wirbel in einer gleichzeitig rotatorischen und progressiven Bewegung sein Zentrum zu begleiten gezwungen sein. So muss man schliessen, wenn man von der allerdings noch willkürlichen Voraussetzung ausgeht, es sei immer dieselbe Luftmasse, welche man an zwei räumlich entlegenen Orten in Drehung um das Luftdruckminimum befindlich wahrnehmen kann. Allein schon unsere landläufigen Erfahrungen an Wasserwellen können uns einen Fingerzeig in dem Sinne geben, dass sich Bewegungen sehr weit von ihrem Ausgangspunkte weg fortpflanzen können, ohne dass die einzelnen Körper wirklich einen grösseren Weg zurücklegen, und bei der Ähnlichkeit zwischen rotatorischer und blos oszillatorischer Bewegung müssen wir uns von vornherein gedrungen fühlen genauer zu untersuchen, ob wirklich der rotierende Wirbel selbst sich translatorisch bewegt oder nur benachbarte Luftmassen durch seine Aktion in Mitleidenschaft zieht. In der That tritt die Unzulässigkeit ersterer Annahme bald genug hervor, und wir dürfen es als eine wenigstens für die unteren Luftschichten ohne Einschränkung geltende Wahrheit aussprechen: Die Übertragung der Wirbelbewegung von vertikaler zu vertikaler Luftschicht geschieht ganz nach Analogie der Wellenbewegung. Um nun zu ermitteln, ob die höheren Horizontalschichten der Atmosphäre wirklich eine andere Art der Fortpflanzung begünstigen, muss man an die schon vielfach zitierten Studien Hildebrandssons und Leys über den Zug der höheren Wolken appellieren. Dieselben beweisen**) für jene oberen Regionen die Existenz einer ausströmenden Luftbewegung an der Vorderseite der Zyklone, während an deren Rückseite die obere Strömung nahezu den unteren Isobaren parallel geht. Diskutiert man dieses Resultat so, wie es Sprung thut, und verbindet mit demselben die Ergebnisse der von amerikanischen Physikern auf einigen sehr hohen Bergen der Rocky Mountains angestellten Beobachtungen, so wird es sehr wahrscheinlich, dass vorstehendes Gesetz der undulatorischen Fortpflanzung auch für höhere Luftregionen zu recht besteht. Wenn wir demnach jetzt von der Bewegung der barometrischen Minima und der sie umkreisenden Zyklonen sprechen, so haben wir mit dem Worte „Bewegung“ einen klaren Sinn zu verbinden gelernt.

*) Sprung, S. 244.
**) Sprung, S. 249 ff.

Die Erfahrung, gestützt auf hunderte und tausende von Wetterkarten, hat nun bezüglich der Fortbewegung der Wirbel das folgende ergeben. In mittleren und höheren Breiten (polwärts von der etwa durch 35° bezeichneten Grenze)*) geschieht die Fortpflanzung am häufigsten von West nach Ost, mit einer kleinen Neigung gegen den Pol hin; letztere verbleibt auch den meist umgekehrt gegen West ziehenden tropischen Zyklonen. Im nördlichen Teile erfolgt das Fortschreiten der barometrischen Depressionen mit weit grösserer Geschwindigkeit, aber auch Regelmässigkeit als über dem Atlantik und in Europa**). Die Geschwindigkeit ist, unabhängig von der Örtlichkeit, in der kalten Jahreszeit grösser als in der warmen. Bis zu einem gewissen Grade folgen die Minima auch dem Verlaufe der Linien gleicher Mitteltemperatur, indem sie auf der Nordhalbkugel das Gebiet höherer Temperatur auf der rechten Seite ihrer Bahn lassen***). Den Bemühungen der Meteorologen, unter denen auf diesem Arbeitsfelde van Bebber sich besonders hervorgethan hat, ist es so möglich geworden, eine Reihe von Zugstrassen oder Wirbelbahnen ausfindig zu machen, auf welchen die Depressionen sich mit Vorliebe bewegen; dass deren Kenntnis für die Zwecke der Wetterprognose eine sehr erwünschte sein muss, leuchtet wohl von selbst ein. Wir wollen die bekannteren und wichtigeren Bahnen mit römischen Ziffern von einander unterscheiden. Strasse I beginnt zwischen Island und Schottland und setzt sich östlich fort, Strasse II

*) Man beachte, dass diese Grenze auf denselben Parallel trifft, welcher auch in Siemens' System der Luftzirkulation eine ausgezeichnete Rolle spielt.

**) Gegen die auf die Einförmigkeit einer Wasserfläche begründete Erwartung sind über den Ozeanen, wie Köppen fand, die Bewegungen und Umbildungen der Depressionen beiweitem unregelmässiger als über den Kontinenten oder in deren Nähe. Der Grund für dieses unerwartete Verhalten liegt wahrscheinlich in der Nachbarschaft warmer und kalter Meeresströmungen und in der geringen Reibung am Wasser. Jene Regelmässigkeit, mit der die Zyklone das weite Gebiet der amerikanischen Republik ziemlich genau von West nach Ost durchwandern, hatte nach Ratzel die erfreuliche Folge, dass man dortselbst manche Gesetze der Windbewegung früher erkennen und für die Wetterpraxis verwerten lernte, als es in der alten Welt mit ihren komplizierteren atmosphärischen Verhältnissen geschehen konnte.

***) Die Frage nach der Richtung, welche die Zyklonalwinde auf dem Meere und Festlande einschlagen, ist schon längst in Bearbeitung genommen; Mühry, v. Maydell, Wittwer, Brounow haben Beiträge zu ihrer Lösung geliefert. Der letztere (Die fortschreitende Bewegung der Zyklonen und Antizyklonen, Dorpat 1882) will auch noch jenen Kurven hierbei Beachtung geschenkt wissen, für welche die Abweichung der Temperatur von der mittleren stets die gleiche ist; Wild (Bull. de l'acad. impér. de St. Pétersbourg, XI) konnte einen auffallend parallelen Verlauf dieser Isanomalen mit den uns längst bekannten Isobaren konstatieren. Hievon machte v. Bezold Gebrauch, um die sonst vorläufig noch unbestimmbaren Isanomalen für die zweite und dritte Mai-Pentade zu verzeichnen, wie sie sich über der Balkanhalbinsel und der nördlich angrenzenden ungarischen Tiefebene gestalten. Er zeigte so, dass namentlich um den 11. — 15. Mai alldort eine abnorme Erhitzung einen kräftigen aufsteigenden Luftstrom veranlasst, in dessen Konsequenz nach dem barischen Grundgesetze kalte Nordwinde über einem grossen Teile von Deutschland wehen. Hierin erblickt er die Ursache der bekannten Maifröste, welche die Volksmeteorologie nicht grundlos mit den Tagen der drei Kalenderheiligen Mamertus, Servatius, Pankratius (die „gestrengen Herren“) in Verbindung zu bringen pflegt.

hat einen etwas südlicher gelegenen Ausgangspunkt und verläuft durch Südschweden, das baltische und weisse Meer, Strasse III schliesst sich bis in die Nähe des Festlandes ziemlich an die vorige an, gabelt sich aber über dänischem Gebiete in zwei Arme. Strasse IV durchschneidet den Kanal, und die auf ihr einherschreitenden tiefen Minima machen häufig das Überfahren der schmalen Meeresstrasse zu einem so stürmischen und unangenehmen; von der Küste weg geht sie nach Nordosten und ist nicht selten für die Wetterlage Deutschlands charakteristisch. Eine fünfte Zugstrasse geht von den britischen Inseln südlich nach Frankreich und Italien. Dass immer nur ein gewisser, jedoch ziemlich stattlicher Prozentsatz aller Minima eine der vorbezeichneten fünf Bahnen wählt, dass daneben auch genug erratische, regellos fortschreitende Minima vorkommen, ist selbstredend, doch darf man hoffen, dass die nicht rastende Forschungsarbeit noch manche Gesetzmässigkeit da entdecken werde, wo bislang noch reine Willkür zu herrschen scheint.

Nachdem wir so zu einigen Anschauungen über die Fortbewegung der atmosphärischen Wirbel durchgedrungen sind*), soll es unsere weitere Aufgabe sein, zu untersuchen, wie sich die einzelnen, für die Gestaltung der Witterung bedeutsamen Faktoren der herannahenden, wellenförmig von Luftzylinder zu Luftzylinder sich übertragenden Wirbelbewegung gegenüber verhalten. In Fig. 44 sehen wir eine Windrose**) vor uns, deren Mittelpunkt der Achse des Wirbels angehören möge, und indem wir einmal von der Umdrehung der Erde absehen, können wir uns alle Luftteilchen radial auf diesen Mittelpunkt hin sich bewegend denken. ab sei die Fortschreitungsrichtung des Zentrums, dR und d'R ihr parallele Bahnen; indem nun ein Beobachter von a nach b oder von d und d' nach R sich bewegen würde, müsste er den Eindruck gewinnen, dass ein in E befindliches Teilchen später auf dem nach SE und wieder später auf dem nach S gehenden Radius erschiene. Dieser Drehsinn ändert sich nicht, wenn wir uns die Luftmoleküle nicht längs des Halbmessers, sondern in Bahnen strömend vorstellen, welche um einen gewissen Winkel gegen den Gradienten gedreht sind, was bei Zyklonen und Antizyklonen der Fall ist. Diese Ueberlegung belehrt uns, dass immer die Wahrheit des folgenden Satzes gilt***):

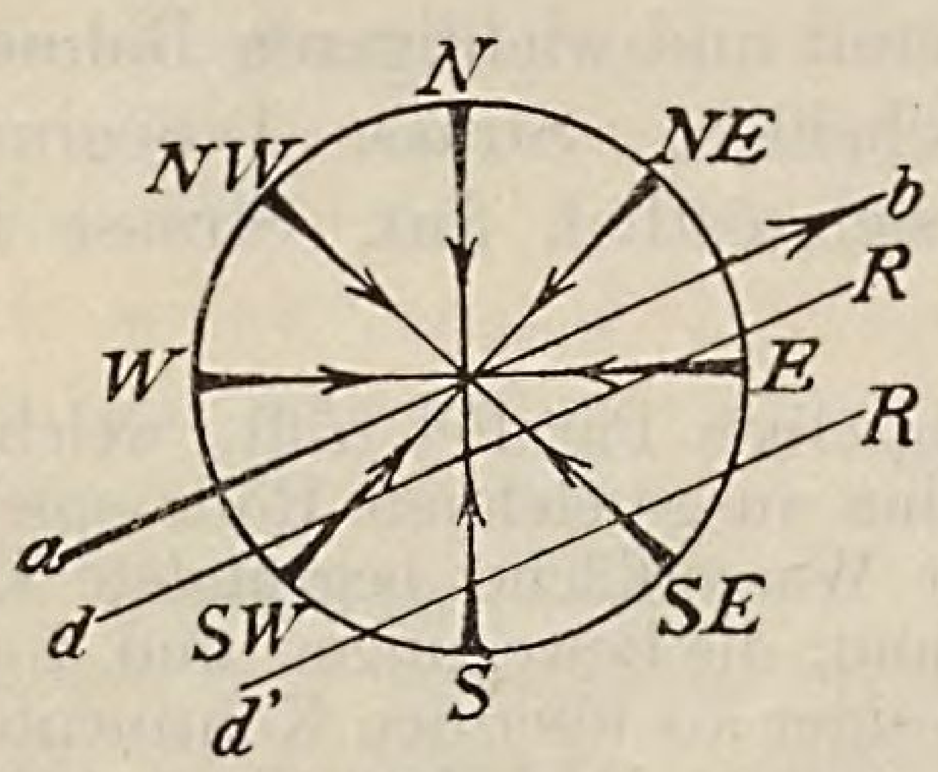


Fig. 44.

*) Unsere Darstellung musste sich hier notgedrungen einer gewissen Kürze befleissigen. Wie viel sich derselben, bei anderem Zwecke dieses Buches noch hinzufügen liesse, wird sofort klar, wenn wir anführen, dass 17 Seiten des Sprungschen Werkes der Detailausführung gewidmet sind, ohne dass eine für den Autor vollständige Klarstellung aller in Betracht kommender physikalischer Fragepunkte erreicht wäre.

**) E (Ost heisst auf englisch East) bedeutet in der Symbolik der Meteorologie, da diese einen internationalen Charakter trägt, immer Ostpunkt und Ostrichtung.

***) Es ist beachtenswert, dass hier die Bewegungen um ein Maximum und um ein Minimum herum unter einen gemeinsamen Gesichtspunkt subsumiert

Wird eine Windfahne durch ein fortschreitendes Windsystem beeinflusst, so zeigt sie, je nachdem sie — einen in der durch den Mittelpunkt des Wirbels gehenden Fortschreitungsrichtung mit dem Gesichte nach vorne sich bewegenden Beobachter vorausgesetzt — einen stets nach der nämlichen Seite, auf der sie jenem Beobachter gegenüber sich befindet, drehenden Wind. Je näher die Windfahne dem Zentrum sich befindet, umso energischer wird ihre Drehung.

Wie nun aus unserer obigen Zusammenstellung der bedeutendsten Zugstrassen hervorgeht, führen diese nur selten durch Süddeutschland oder südlich an Deutschland vorbei. Weitaus die meisten Minima ziehen nördlich von Mitteleuropa vorbei, die in diesem Teile unseres Kontinentes aufgestellten Windfahnen befinden sich rechts von unserem hypothetischen Beobachter in der Achse des Windsystemes, und so lässt sich aus unserem Lehrsatze ein Korollar herleiten, welches unseren Ausspruch von früher bestätigt, dass der Doveschen Winddrehungsregel noch unter einem anderen als dem blos geschichtlich-pietätvollen Gesichtspunkte Achtung gebühre. Unser Zusatz gestattet nämlich diese Formulierung:

In Deutschland und dem südlichen und mittleren Europa überhaupt muss, solange die Trajektorien der das Wetter dieses Landkomplexes wesentlich bestimmenden Depressionen sich nicht ändern, die Anzahl der im Sinne des Uhrzeigers erfolgenden Winddrehungen grösser sein als diejenige der entgegengesetzt erfolgenden.

Über die Tiefe der europäischen Minima verbreitet sich eine der gehaltvollen Untersuchungen Köppens, aus welcher hervorgeht, dass die Minima, je weiter sie sich den Polen nähern, immer tiefer und tiefer werden, im norwegischen Meere beträgt ihre mittlere Tiefe 740 mm, zwischen den Pyrenäen und der Balkanhalbinsel nur 752 mm.*) Ein analoges Verhalten bezüglich der Höhen lassen aber auch die Maxima erkennen, obwohl solches zu dem allgemeinen Gesetze einer polwärts langsam abnehmenden Höhe des mittleren Luftdruckes nicht passen will. Da also in Nordeuropa tiefe Depressionen und hohe Elevationen auf einander folgen, so finden sich dort jene grossen unperiodischen Schwankungen des Barometerstandes vor, mit welchen uns Fellberg**) bekannt gemacht hat. Dieselben geben die Möglichkeit an die Hand, Beziehungen zwischen Windrichtung und Luftdruck zu erkennen, welche mehrfach von den uns sonst geläufigen abweichen.

Die Vorgänge, welche beim Herankommen, beim Überstreichen und beim Wegzuge eines Minimums für irgend einen Ort der Erde sich er-

werden können. Der Satz würde also auch bei seiner Allgemeingiltigkeit dann nicht an Wahrheit einbüssen, wenn v. Miller-Hauenfells mit seiner Behauptung im Rechte wäre, dass Ferrels Formeln für Windrichtung und Windgeschwindigkeit nur auf einströmende und nicht auch auf ausströmende Winde angewandt werden dürften.

*) Sprung, S. 273.

**) Fellberg, Über die unperiodischen monatlichen Schwankungen des Barometerstandes, Archiv der deutschen Seewarte, 1. Jahrgang.

geben, hat Mohn sehr ausführlich und gründlich am schematischen Bilde erläutert;*) wir hier ziehen es vor, der von Cl. Ley gegebenen kürzeren und vielleicht doch noch anschaulicheren Darstellung zu folgen, welche sich an Fig. 45 anlehnt.**) Vor dem dem fraglichen Orte zugekehrten äussersten Rande des fortschreitenden Wirbels breitet sich eine Bank von Zirrostratuswolken aus, deren Begrenzung eine ungewöhnlich scharfe und etwa der Form der heranrückenden Isobaren ähnliche ist.***) Der obere Strom, in welchem die äusseren Teile dieser Wolkenbank schwimmen, weicht der Richtung nach meist erheblich von unten ab, stets um mehr als 90° (nach rechts), oft um fast 180°. Je schneller die Bewegung des Randes dieser Zirrostratusschicht ist, eine um so tiefere und die Wetterlage stärker beeinflussende Depression darf im allgemeinen erwartet werden. Die Zirruswolken ziehen über unseren Häuptern weg, während die Zugrichtung der oberen Strömung eine Ablenkung nach links (gegen den Uhrzeiger) erfährt, und der Nimbus, in welchen die Wolkendecke sich verwandelt, verkündet die Ankunft des Wirbelzentrums. Regen oder Schnee begleiten die veränderte Windrichtung. Die ganze Vorderhälfte der Zyklone führt solche trübe Wolken mit sich, doch ist deren Charakter zu beiden Seiten der vom Zentrum beschriebenen Bahn ein sehr verschiedener. Wenn wir uns nämlich, wie dies für Deutschland erwähntermassen in der grossen Mehrzahl der Fälle zutrifft, rechts von jener Trajektorie befinden, so dauert die Nimbuswolke so lange an, bis das Zentrum seine kürzeste Entfernung von uns erreicht hat, dann fällt kräftiger Regen, und die Luft klart plötzlich auf, während der Wind — je nach der Entfernung des Beobachtungsplatzes von der Wirbelachse mit grösserer oder geringerer Geschwindigkeit — im Sinne des Uhrzeigers sich zu drehen beginnt. Bis zu diesem Zeitpunkte ist auch meist das Barometer heruntergegangen, denn dieses fällt beim Insichtkommen einer Zyklone jedesmal kontinuierlich, nachdem, wie zuerst der Erfurter Physiker Planer gegen



Fig. 45.

*) Mohn, S. 245 ff.

**) Moderne Meteorologie in sechs Vorlesungen, autor. deutsche Ausgabe, Braunschweig 1881. Ungleich ist der wissenschaftliche Wert der einzelnen Beiträge; nur die fünfte Vorlesung, Leys Theorie der Wolken darstellend, muss als vorzüglich in ihrer Originalität bezeichnet werden.

***) Dies errinnert an Busins zunächst allerdings nur aus italienischen Beobachtungen abstrahierte Wahrnehmung, wonach gewisse Wetterformen (Reif, Regen u. s. w.) durch fixe Isobarentypen, d. h. durch eine charakteristische Lagerung der betreffenden Kurve angedeutet sein sollen. Wäre dem wirklich so, so würde sich dieser Typus auch in der oben erwähnten Wolkenbank aussprechen, und deren Aussehen schon würde es erlauben, gewisse prognostische Schlüsse zu ziehen.

das Ende des vorigen Jahrhundert bemerkte, ein ganz kurzes Steigen diese Bewegung eingeleitet hatte. Auf der Rückseite des Wirbels ist das Aussehen ein von demjenigen auf der Vorderseite grundverschiedenes, der hoch schwebenden Wolken sind es nur wenige, und der obere Luftstrom zieht dem unteren parallel dahin; flockige, zerfetzte Kumuli haben die Zirren abgelöst. Übrigens bedeutet die Ankunft der rückwärtigen Wirbelseite nicht unter allen Umständen schönes Wetter, obwohl die Luft hier klarer, dunstfreier und auch kühler zu sein pflegt, sondern es ist noch häufig eine Neigung zur Gewitterbildung, zu Regen- und Hagelschauern vorhanden. Noch viel seltener geschieht der Übergang vom regnerischen zum hellen Wetter unvermittelt an jenen Orten, welche sich links hinter dem fortrückenden Wirbelzentrum befinden. Während dieses vorüberzieht, pflegen die oberen Wolken in trübe Stratusbänke überzugehen, und solche finstere Wolken überziehen den Himmel auch noch lange nach dem Zeitpunkte, welcher der rechten Seite der Zentrumsbahn bereits längst heiteren Himmel gebracht hat.*) —

Stillschweigend war auch in der Abbildung, in welcher Ley die Ergebnisse einer mit seltener Ausdauer fortgesetzten Untersuchung über Wolkenformen in ihrer Abhängigkeit von den Wirbelbahnen zusammengedrängt hat, die Zyklone als eine annähernd kreisförmige vorausgesetzt worden. Diese Gestalt hat sie jedoch, wie wir schon wissen, nur ausnahmsweise, starke oblonge Verzerrungen kommen häufig genug vor, und es ist desshalb die Frage wohl gerechtfertigt: Woher rührt die nicht seltene Deformation der Depressionsgebiete? Die Antwort, welche die Meteorologie von heute auf diese Frage geben kann, läuft darauf hinaus, dass sogenannte Teilminima — der Name ist uns gelegentlich schon begegnet — sich an einer bestimmten Seite der Depression bilden und letztere dadurch an ebendieser Seite nicht recht zur Entwicklung gelangen lassen **). Die Bewegung dieser sekundären Depressionen erfolgt mit weit grösserer Geschwindigkeit längs des Randes des primären Minimums, als dieses letztere selbst im Raume fortzuschreiten vermag; im übrigen aber gelten für die Bewegung der Partialzyklonen und für deren Einwirkung auf die Witterung ganz dieselben Regeln, mit denen wir uns soeben bekannt zu machen hatten. Sie entstehen vielfach da, wo in einer umfangreichen Depression zwei sehr verschieden temperierte Luftströmungen auf einander treffen und tragen dann ihrerseits zur Verstärkung des bereits vorhandenen Gegensatzes bei. Durch die Betrachtung der Wetterkarten kann man, wenn sich eine auffallende Ausbuchtung der Isobaren vorfindet, nicht selten deren Ursache in dem Auftreten eines kleinen lokalen Wirbels erkennen, der nach Art eines Tornados wirkt und seine Sonderexistenz kräftig zur Geltung zu bringen versteht. Was nun diese sekundären Luftdruckphaenomene zu einem Objekte besonderen Interesses für die dynamische Meteorologie erhebt, ist hauptsächlich das zuerst von den

*) Nach Billwiller bringt übrigens nicht nur ein Minimum sondern auch ein in das Gebiet seichter, stationärer Depressionen eindringendes Maximum nicht selten starke und anhaltende Niederschläge.

**) Sprung, S. 277.

französischen Gewitterbeobachtungsstationen*) aufgedeckte Faktum, dass jene Phaenomene zu den Gewittern in nahen Beziehungen stehen. Wir haben uns mit den Gewittern zwar oben schon eingehend beschäftigt, allein doch wesentlich nur insoweit, als durch sie die abrupten elektrischen Ausgleichungen zwischen Luft und Erde vermittelt werden. Ausdrücklich behielten wir uns damals vor, der Mechanik der Gewitter später am geeigneten Orte noch besondere Beachtung angedeihen zu lassen, und jetzt ist die Zeit zur Einlösung des Versprechens gekommen.

Wir lassen also Blitz und Donner ganz beiseite und halten uns lediglich an den die elektrischen Entladungen einleitenden Gewittersturm, für welch letzteren in neuerer Zeit, zumal seitdem Köppen dieser Bezeichnung den Vorzug gegeben hat, auch das Wort Böe, aus der Seemannssprache herübergenommen, in Gebrauch gekommen ist. Durch die Detailuntersuchung einzelner scharf ausgeprägter Gewitterböen, unter denen namentlich diejenige vom 9. August 1881 willkommene Aufschlüsse lieferte, konnte man feststellen, dass der Vorderrand des Windstosses, die sogenannte Gewitterfront, sich selbst parallel bleibend in westöstlicher Richtung durch ganz Deutschland fortschritt; die erste Frontlinie, welche Köppen durch Zeitbestimmungen festlegen konnte, verlief ungefähr zwischen Aachen und Metz (früh 9 Uhr), die letzte Frontlinie, genau 12 Stunden später gezogen, dehnte sich von der Gegend Danzigs nach der oberen Oder hin aus. Um den Parallelismus, von dem wir sprechen, an einem hervorragend prägnanten Beispiele zu erhärten, geben wir in unserer Fig. 46 Börnsteins Verfolgung des Gewitters vom 16. Juli 1884 (s. o.) wieder; die Analogie der Krümmungen in den von sechs bis neun Uhr abends aufgezeichneten Frontlinien hat etwas geradezu überraschendes an sich. Was die zeitliche Dauer des Wütens einer Böe anlangt, so ist, worauf zuerst Köppen unsere Aufmerksamkeit lenkte, zu beachten, dass der fast immer dem Sonnenlaufe entgegen fortschreitende Sturm dem Einflusse der täglichen Periode unterliegt, deshalb dort, wo er sich in der wärmsten Tageszeit befindet, zur höchsten Kraftentfaltung gelangt und mit Einbruch der Nacht allmählig seine Stärke einbüsst, so dass z. B. im Falle der Fig. 46 auch dann schwerlich eine viel weiter vorgeschobene Front der Böe zu verzeichnen wäre, wenn in Polen der Gewitterregistrierungsdienst besser organisiert wäre, als er es thatsächlich ist. Die Insolation ist es aber auch, welche überhaupt die Bildung und den Ausbruch des Gewitters erst möglich macht; an der Ost- oder Südseite einer bereits vorhandenen Hauptdepression bildet sich durch die starke Besonnung ein Gebiet hoher Wärme und mit ihm ein aufsteigender Luftstrom samt dem ihn umgebenden Partialminimum heraus. Während die westliche Seite der Depression früh morgens kühle Luft zugeführt erhält, erhitzt sich der östliche Ausläufer mehr und mehr, und an der Grenze des warmen und kalten Gebietes fällt Regen. Zeichnet man in die für die allmählige Verbreitung der Gewitterfronten angelegten Karten auch die

*) Der geistige Entdecker des Planeten Neptun, Leverrier, rief in Frankreich diesen Beobachtungsdienst ins Leben (s. o.).

durch die Punkte mit gleicher Temperatur hindurchgelegten krummen Linien ein, so erkennt man den grossen Gegensatz in der Temperaturverteilung vor und hinter dem Gewittersturm. Die eigentümlichen Regen- und Hagelstreifen — diese Wassermeteore pflegen sich

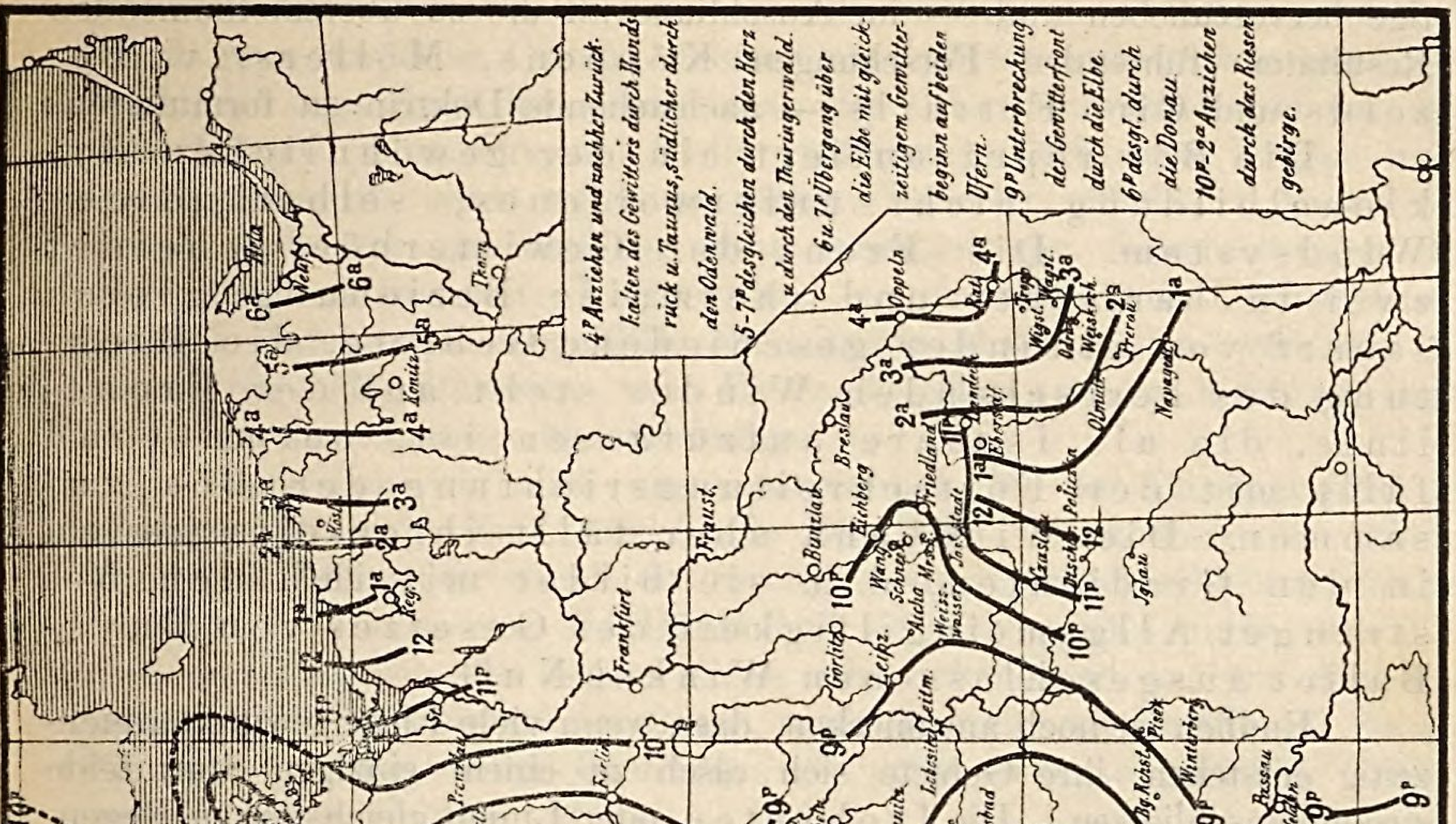


Fig. 46.

durchgängig nur in bandförmigen, auf der Fortschreitungsrichtung senkrechten Gebieten abzuscheiden — verraten ebenfalls die Anwesenheit der vorspringenden Zunge, in welcher das Teilminimum seinen Sitz hat.*)

*) Abercrombys Schrift „Principles of forecasting by means of Weather-Maps" (London 1885) schildert ebenfalls treffend die für die Teilminima signi-

Der Regenstreifen überdeckt das gleichfalls wesentlich nur nach Einer Dimension sich ausdehnende eigentliche Sturmfeld nur teilweise; innerhalb dieses letzteren hat der Wind fast überall dieselbe Richtung.*)

Schon ganz im Anfange dieses Hauptstückes wurde darauf hingewiesen, dass das barische Fundamentalgesetz bei Gewittern nicht in aller Strenge gelte. Jetzt haben wir diese Anomalie als eine sehr wichtige hervorzuheben und — im Anschlusse an die zu übereinstimmenden Resultaten führenden Forschungen Köppens, Möllers, v. Bezolds und Ciro Ferraris — nachstehende Doktrin zu formulieren:

Die Böe repräsentiert ein der gewöhnlichen Zyklonalbildung nicht unterworfenes, selbständiges Windsystem. Die Front der Gewitterböe scheidet zwei in barischer und thermaler Beziehung gleich scharf von einander geschiedene Gebiete, die Richtung des herrschenden Windes steht auf der Frontlinie, die als Isobare aufzufassen ist, normal und fällt mit der Fortschreitungsrichtung der Böe zusammen. Die Windbahn aber fällt ihrerseits genau in den Gradienten, d. h. sie bildet mit ihm den bei strenger Allgemeingiltigkeit des Gesetzes von Buys-Ballot ausgeschlossenen Winkel Null.

Endlich ist noch anzumerken, dass, wenn viele Einzelgewitter gleichzeitig entstehen, ihre Gebiete sich rasch zu einem einzigen Sturmfelde zusammenschliessen. Die Isohyeten oder Linien gleichstarken Regenfalles beweisen, dass die Niederschlagsmenge um das Gewitter herum sich in elliptischer Form verteilt, so zwar, dass die grosse Achse der Ellipse der Richtung des Gewitters parallel bleibt.**)

fikante Zungenbildung. Die sekundären Zyklone, so wird dort ausgeführt, treten gewöhnlich in der Verlängerung des Ovales einer primären Zyklone auf und zwar an jener Längsseite, welche dem höchsten benachbarten Drucke zunächst gelegen ist. Zwischen der ersten und der ihr entspringenden zweiten Zyklone gibt es schwache Gradienten und leichte Winde, auf der anderen Seite des Teilminimums, welche eben in die Front der Böe zu liegen kommt, sind, wie bekannt, grosse Gradienten und heftige Winde das massgebende.

*) Sprung, S. 291.

**) Über die Regenbildung bei Gewittern sind noch mancherlei Untersuchungen zu pflegen, bis deren Bedingungen mit Sicherheit erkannt sind. Einen sehr dankenswerten Beitrag hiefür liefert eine Studie über italienische Gewitter, welche Ciro Ferrari unterm 9. Januar 1887 der römischen „Accademia dei Lincei" eingereicht hat. Beim Anfertigen einer Karte der Regenverteilung für die erste Dekade des September 1886 zeigte es sich, dass sämmtliche Niederschläge in einem Streifen parallel zur Achse der Halbinsel gefallen waren. Damit war also ausgesprochen, dass die Streifenbildung kein absolut notwendiges Begleitereignis eines Gewitters ist, denn viele der zur Kognition gelangte Regenfälle trugen den Charakter des gewöhnlichen, von elektrischen Entladungen freien „Landregens". Ciro Ferrari hielt es desshalb mit Recht für angezeigt, die Umstände genauerer Prüfung zu unterwerfen, von welchen die Streifenbildung sich abhängig erwies. Es wurden im ganzen 1461 Tageskarten verglichen. Wenn das hinlänglich stark ausgebildete Minimum im Norden Europas, über den Shetlandsinseln, Norwegen, Nordrussland, Belgien, Polen, ja auch über Westfrankreich und der Schweiz lag, während über West- und Südeuropa eine Antizyklone sich ausbreitete — die Barometerstände der Halbinsel waren so gut wie irrelevant —, dann wehten allenthalben in Italien dem

Die Erkenntnis, dass ausser dem Gegensatze von Zyklonen und Antizyklonen noch andere Bewegungsmodalitäten in unserer Atmosphäre möglich und sogar häufig vorkommend sind, gehört unstreitig zu den bedeutendsten unserer Zeit. Wir ersehen daraus, dass nicht alle den „Wirbelwinden“ zugeschriebenen Verheerungen diesen wirklich zur Last zu legen sind, dass mancher amerikanische „Tornado“ vielleicht nur ein Gewittersturm war, wie er auch bei uns vorkommt. Selbst der anscheinend ganz tropische Orkan, welcher vor kurzem mit verheerender Gewalt über das Städtchen Crossen an der Oder hinbrauste, scheint den von Köppen an Ort und Stelle gepflogenen Recherchen zufolge mehr einen böen- als einen zyklonenartigen Charakter gehabt zu haben. Es ist ja auch sehr gut denkbar, dass innerhalb der fortschreitenden Böe sich wieder kleinere Lokalwirbel entwickeln, deren Vorhandensein uns die strichweisen Hagelfälle ohnehin glaubhaft machen, wenn wir uns einer der Hageltheorien von Ferrel, Möller, Andries oder Vettin (s. o.) angeschlossen haben.

Verweilen wir noch einen Augenblick bei der Physiographie der Gewitterstürme.*) Eine aufziehende Böe kündigt sich auch dem minder kundigen Beobachter durch das rasche Zusammenziehen schwerer, dunkelschwarzer Wolken an; die Dunkelheit der Atmosphäre nimmt unmittelbar vor Ausbruch des Regens einen sehr hohen Grad an, um sich dann allerdings, wenn einmal der Regen niederprasselt, wieder schnell zu verlieren. Der Typus der Böenwolke ist nicht eine gleichmässige Schicht sondern eine ringförmige, nach beiden Seiten scharf abgegrenzte Wolkenzone, oberhalb deren Zirren und Zirrokumuli sich befinden, während zwischen ihrem Unterrande und dem Horizonte sich ein gleichmässig lichtgraues Segment ausbreitet.**) In diesem sind die Regenmassen enthalten, welche meist, nachdem der dunkle Wolkenwulst ziemlich hoch am Firmamente hinaufgerückt ist, herabzufallen beginnen. Fig. 47 bringt nach Köppen den Durchschnitt einer regnenden Wolke zur Ansicht.

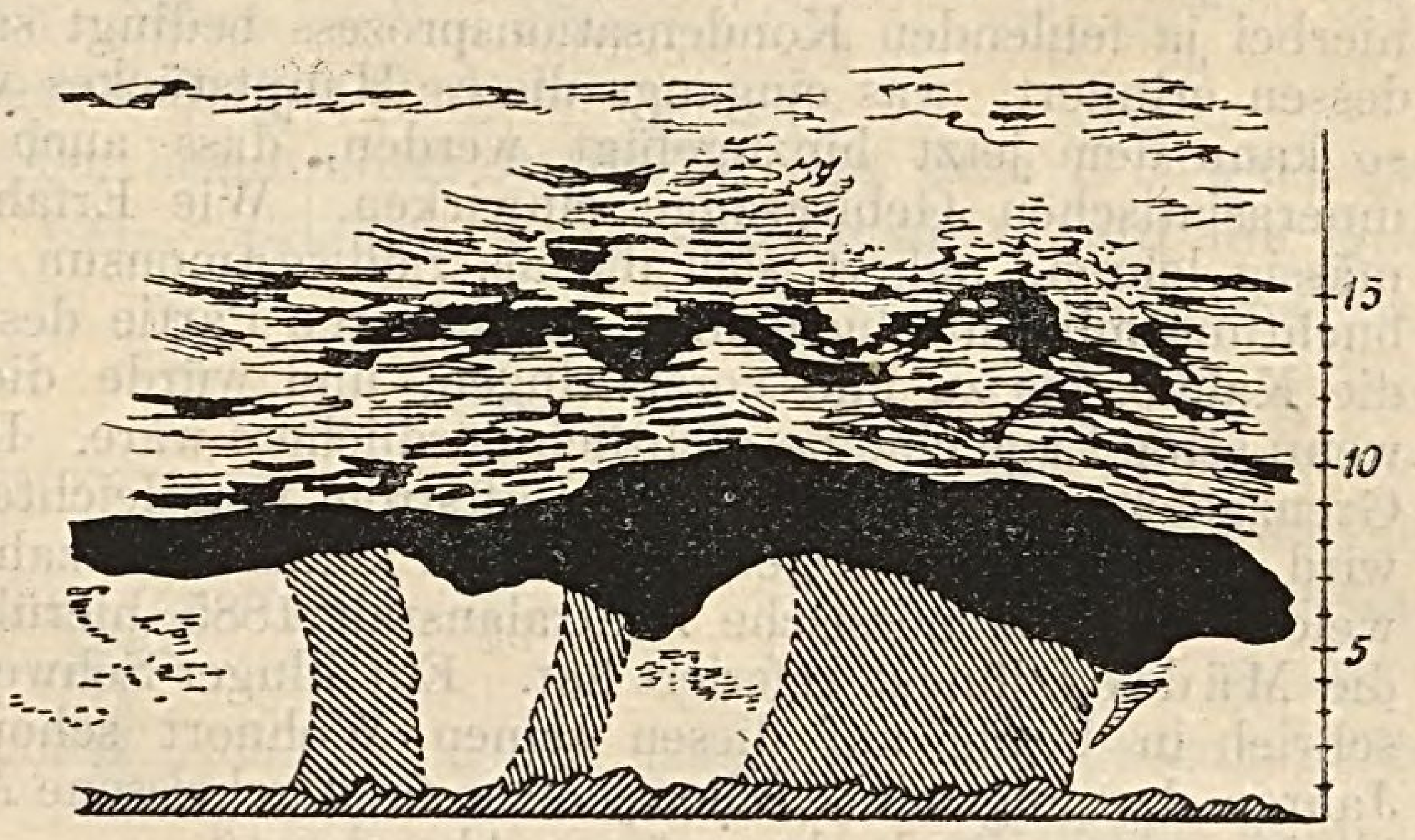


Fig. 47.

barischen Gesetze zufolge feuchte Südwestwinde, welche am Appenin ihren Wasserdampf abgaben und abgetrocknet das Gestade der Adria erreichten. So erklärte es sich, dass in Strichzonen, parallel der Achsenrichtung des Längsgebirges und getrennt durch gänzlich regenlose Streifen, die Niederschlagsquanta immer mehr von Westen nach Osten abnahmen, bis sie längs des adriatischen Meeres ihren kleinsten Betrag erreichten. Wir verweilten bei diesen Wahrnehmungen deshalb etwas länger, weil sie uns das Phänomen der Regenstreifen, losgelöst vom Gewitter, vor Augen stellen und andererseits auf den bedeutsamen, gleich nachher noch eingehender zu würdigenden Einfluss der Gebirge hinweisen.

*) Sprung, S. 294 ff.

**) Aus erwähntem Grunde spricht jenes verdienstliche Handbuch der

Eine sehr merkwürdige Nebenerscheinung, an der wir nicht gleichgiltig vorübergehen dürfen, ist endlich der Einfluss, den natürliche Grenzen, Gebirge und Flüsse, auf die Fortbewegung der Gewitter ausüben. Börnsteins Untersuchungen, für welche Fig. 46 bei näherem Beschauen manch augenfälligen Beleg beschafft, haben über zwei Thatsachen keinen Zweifel gelassen, welche wir, wie folgt, zu formulieren imstande sind: Gebirge wirken auf die Gewitter derart anziehend, dass sie deren Herannahen beschleunigen, deren Wiederabzug dagegen verlangsamen;*) Flüsse erweisen sich als ein effektives Hindernis.**) Manche Gewitter werden ganz oder teilweise vernichtet, wenn ihre Front an einem parallel gehenden Strome anlangt, in vielen Fällen freilich wird das Hindernis überschritten, aber erst nach längerem Zeitaufwande.***) Diesen physikalischen Besonderheiten des Terrains, über welche die Böe wegzieht, wird erst jetzt, nachdem die Grundgesetze erkannt sind, die Berücksichtigung in wünschenswertem Masse zuteil werden können.

Ozeanographie, welches die österreichische Admiralität durch Attlmayr und Genossen ausarbeiten liess, stets von kreisförmigen Böen. Wir glaubten die Bezeichnung als tautologisch weglassen zu dürfen.

*) Es war schon oben von jener Modifikation der Vettinschen Rauchversuche die Rede, bei denen man die Ströme zwingt, kleine ihnen in den Weg gestellte „Gebirge" (krenelierte Brettchen) zu überschreiten. Gerade bei diesem Versuche haben Vettin und Börnstein die Attraktions- und Retentionskraft der Bergketten deutlich wiedererkannt, die sonach nicht lediglich durch den hierbei ja fehlenden Kondensationsprozess bedingt sein kann. Wenn man sich dessen erinnert, was eingangs dieses Hauptstückes vom Monsun gesagt wurde, so kann dem jetzt hinzugefügt werden, dass auch auf dessen Gestaltung die innerasiatischen Gebirgszüge einwirken. Wie Erfahrung und Versuch gleichmässig lehren, nähert sich die als Südwestmonsun fortschreitende Kalmenausbuchtung mit Entschiedenheit der höheren Partie des Himálaya; derselbe nötigt die Kalme, bis zu ihm vorzudringen, und würde dies selbst dann noch thun, wenn seine Lage eine beträchtlich nördlichere wäre. Die niedrigeren chinesischen Grenzgebirge lassen (s. o.) den Luftstrom weit leichter an sich vorbei. Übrigens wird der Einfluss der Gebirge auch in keinem der zahlreichen Berichte geleugnet, welche die eidgenössische Zentralanstalt 1885 hierüber eingefordert, und über die Mädler jüngst referiert hat. Ein kluger Schweizer, Segesser in Luzern, schrieb in bezug auf diesen seinen Wohnort schon vor mehr denn hundert Jahren das folgende; „Eben jene so fatal geheissene Anziehungskraft der Gebirge ist für unsere Stadt das grösste Absorbens."

**) Um die Vettinschen Versuche auch für „Flüsse" zu aptieren, rieb Börnstein auf der Bodenfläche, über welche der Rauch hinzuströmen hat, mehrere Längsstreifen mit Eis ab. Diese Nachbildung der natürlichen Verhältnisse bezieht sich also selbstverständlich nur auf die — wichtigere — warme Jahreszeit, während deren das Flusswasser kälter als das benachbarte Land ist.

***) Sobald ein Gewitter an einer hemmenden Örtlichkeit ankommt, verfährt es ähnlich, wie beim Exerzieren verfahren wird, sobald im Frontmarsche das Kommando „Hindernis" ertönt. Derjenige Teil der Frontbreite, welcher aufgehalten ist, setzt sich nämlich durch „Abbrechen" hinter die ungehindert fortmarschierende Abteilung, umgeht so das Hemmnis und gewinnt schliesslich durch beschleunigten Aufmarsch wieder die gleiche Höhe mit dem Gros.

Drittes Hauptstück.

Allgemeine Klimatologie.

Während bei denjenigen meteorologischen Fragen, mit welchen sich das vorige Hauptstück zu beschäftigen hatte, das physikalische Moment schwerer ins Gewicht fiel als das geographische, während also die spezielle Gestaltung des Landes nur bei gewissen mehr untergeordneten Problemen, wie bei der Fortpflanzung der Gewitter, ernstlicher in betracht kam, ändert sich nun die Sache von Grund aus, denn die Klimatologie, welcher wir uns jetzt zuzuwenden haben, wird nicht mit Unrecht auch als geographische Meteorologie bezeichnet. Fürs erste haben wir den Begriff Klima, dessen sich der gewöhnliche Sprachgebrauch so vielfach bemächtigt hat, in wissenschaftlicher Weise festzustellen. Das Wort ist griechisch und bedeutet ursprünglich die „Neigung" (vom Verbum κλίνω) und stammt bereits aus sehr alter Zeit, indem zuerst der eleatische Philosoph Parmenides, ein Zeitgenosse des Sokrates, die Einteilung der Erdoberfläche in Zonen oder Klimate durchgeführt haben soll. Diese Einteilung beruht auf dem richtigen Gedanken, dass die Erwärmung einer bestimmten Erdstelle von dem Neigungswinkel abhängig sei, unter welchem die Sonnenstrahlen auf die Horizontalebene treffen. Je grösser dieser Winkel ist, desto grösser auch die Erwärmung, doch ist das Wachstum beider Grössen nicht etwa ein proportionales.*) Sei nun (Fig. 49) M der Mittelpunkt der Erdkugel, AA' der Aequator. Um den Gedanken eine feste Richtung zu geben, denken wir uns die Sonne in der verlängerten Aequatorebene befindlich, so dass also alle Sonnen-

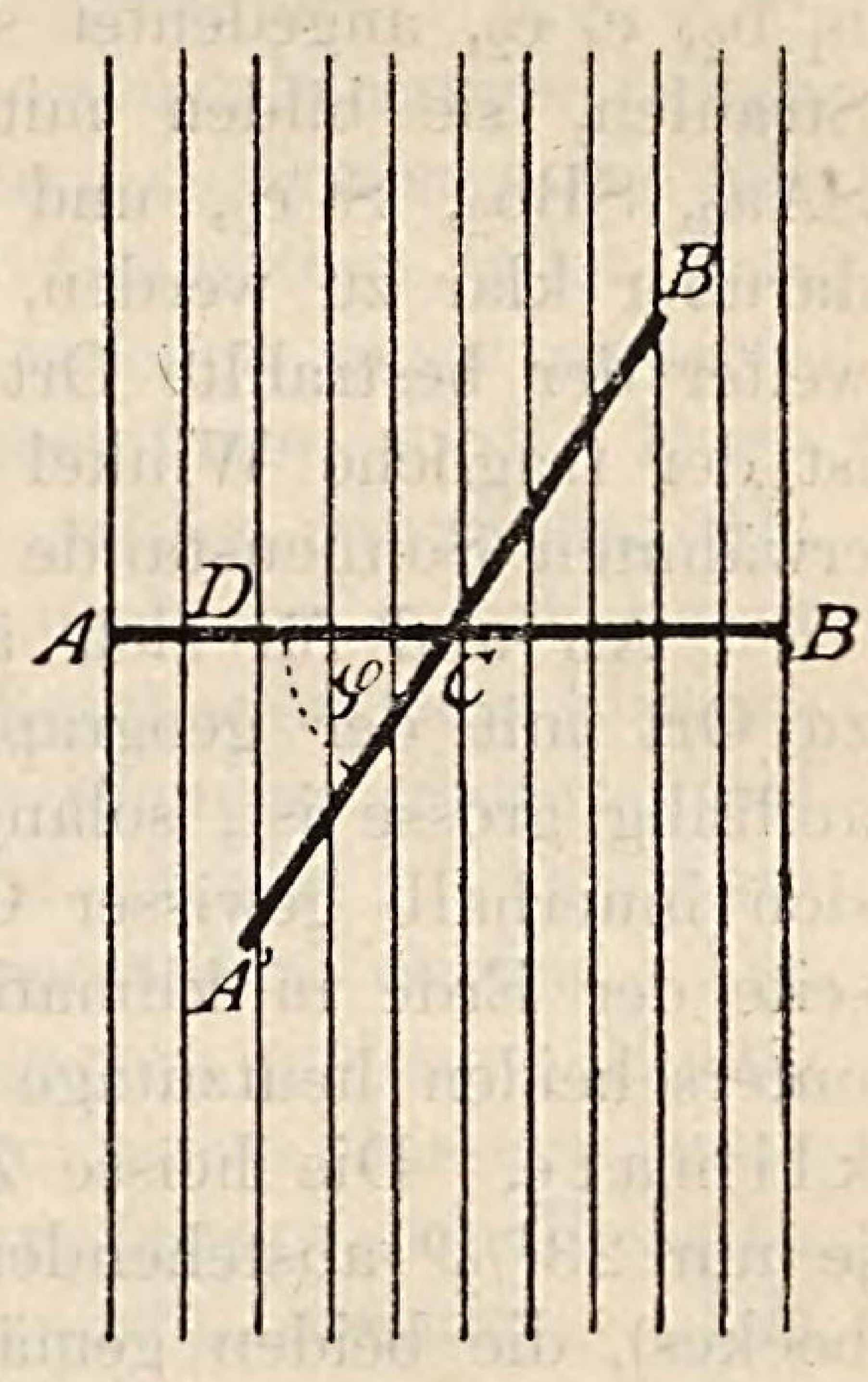


Fig. 48.

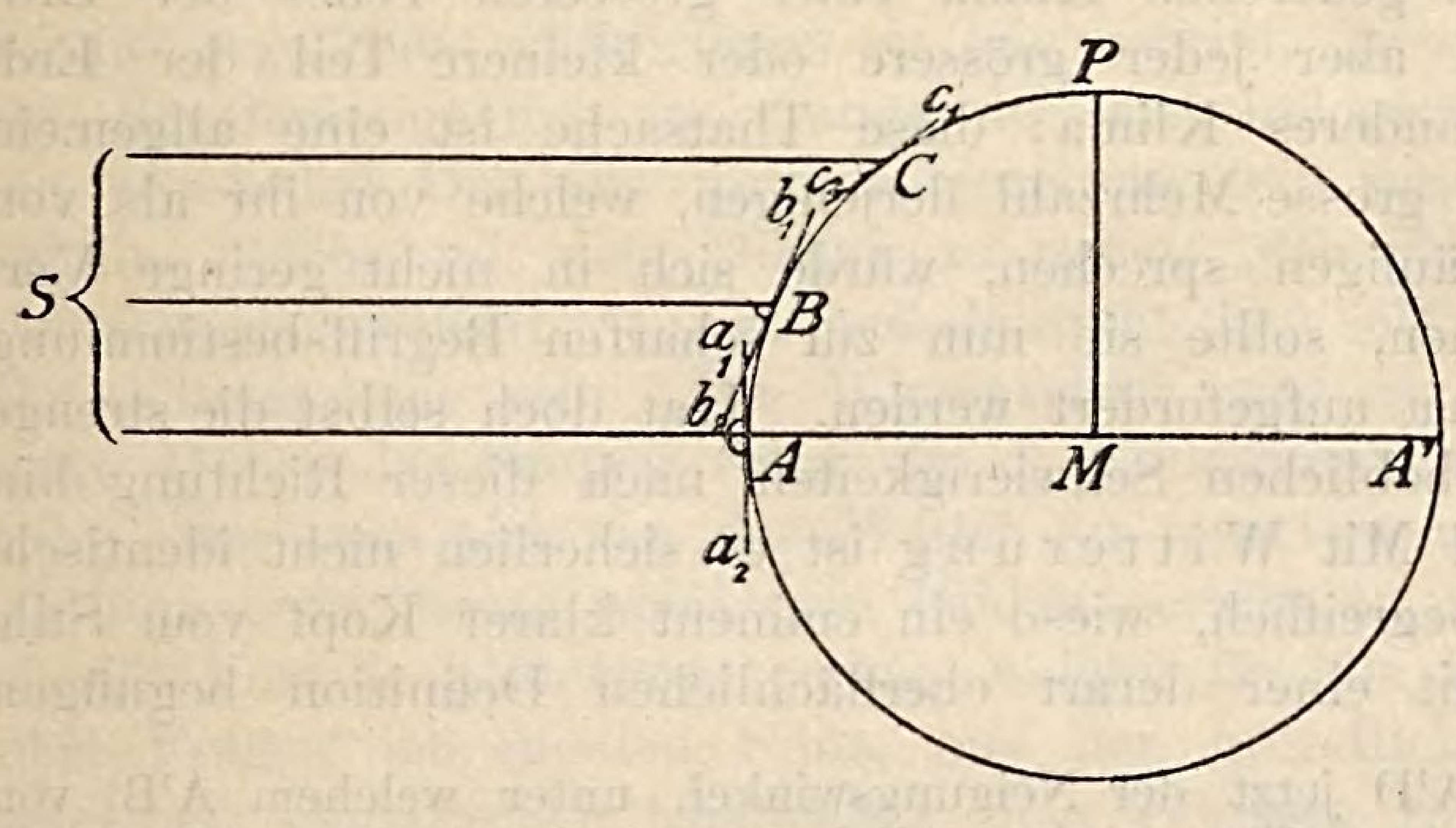


Fig. 49.

*) Genauer gesprochen, lautet der Satz: Die Erwärmung ist dem Sinus des Neigungswinkels proportional. In Fig. 48 sehen wir ein Parallelstrahlenbündel vor uns; die Strecke AB, welche senkrecht zu dessen Richtung steht, wird von jedem einzelnen Strahle des Bündels getroffen und empfängt also die volle Wärme, die wir W nennen wollen. Nun drehen wir AB um seinen Mittelpunkt C so, dass AB in die Lage A'B' versetzt wird; steht A'D senkrecht

strahlen, bei der ungemein grossen Entfernung des Licht aussendenden Körpers, als zu AA' parallel angenommen werden dürfen. Die Horizontalebene ist, wie aus der mathematischen Geographie bekannt, nichts anderes als die in einem Punkte auf der Erdkugel an diese gelegte Berührungsebene; in A, sowie in den Punkten B und C, von denen letzterer die grössere geographische Breite besitzt, seien Tangentialebenen konstruiert, deren Durchschnittslinien mit der Papierebene durch $a_1 a_2$, $b_1 b_2$, $c_1 c_2$, angedeutet sein mögen. SA, SB, SC sind die einfallenden Strahlen, sie bilden mit den Tangentialebenen sukzessive die Winkel SAa_2, SBb_2, SCc_2, und es genügt ein Blick auf die Zeichnung, um darüber klar zu werden, dass diese Winkel um so kleiner werden, je weiter der bestrahlte Ort vom Gleicher entfernt liegt. Für den Pol P ist der fragliche Winkel gleich Null, somit wird kein Erdpol bei dem erwähnten Sonnenstande von einem Wärmestrahle getroffen.

An und für sich ändert sich der Betrag der Strahlung von Ort zu Ort mit der geographischen Breite, allein da die Änderung keine auffällig grosse ist, solange der Breitenunterschied der betreffenden Orte sich innerhalb gewisser Grenzen hält, so hat die Einteilung der Aussenseite der Erde in klimatische Zonen immerhin ihre Berechtigung. Wir unterscheiden heutzutage fünf derartige *Hauptzonen* oder *Hauptklimate*. Die heisse Zone liegt innerhalb der beiden, vom Aequator je um $23^1/_2{}^0$ abstehenden *Wendekreise* (des Krebses und des Steinbockes), die beiden gemässigten Zonen werden von je einem Wendekreise und *Polarkreise* eingeschlossen, und die beiden jenseits der Polarkreise ($23^1/_2{}^0$ vom betreffenden Pole entfernt) befindlichen Kugelkappen nennt man die nördliche und südliche kalte oder Polar-Zone.**) (Statt Zone ist aber auch die Bezeichnung Klima allgemein üblich.)

Neben diesem generellen Klima eines grösseren Teiles der Erdoberfläche hat nun aber jeder grössere oder kleinere Teil der Erdoberfläche sein besonderes Klima; diese Thatsache ist eine allgemein bekannte, allein die grosse Mehrzahl derjenigen, welche von ihr als von einer allgemein geläufigen sprechen, würde sich in nicht geringe Verlegenheit gesetzt sehen, sollte sie nun zur scharfen Begriffsbestimmung dieses Wortes *Klima* aufgefordert werden. Hat doch selbst die strenge Wissenschaft mit erheblichen Schwierigkeiten nach dieser Richtung hin zu kämpfen gehabt! Mit *Witterung* ist es sicherlich nicht identisch, und es ist schwer begreiflich, wieso ein eminent klarer Kopf vom Stile *Peschels* sich mit einer derart oberflächlichen Definition begnügen

auf AB, so ist $\sphericalangle$ CA'D jetzt der Neigungswinkel, unter welchem A'B' von dem Strahlenbündel getroffen wird. Allein ersichtlich gehen jetzt viele Strahlen an A'B' vorüber, ohne auf dieses irgendwelche Wirkung auszuüben; die Wärmewirkung, jetzt W', wird verkleinert in dem Verhältnisse CD : CA oder, was dasselbe ist, CD : CA', und dieses Verhältnis ist es eben, welches die Trigonometrie mit dem Namen „Kosinus von φ" belegt. Man hat $W' = W\cos\varphi = W\sin CA'D$.

**) Das ganze Mittelalter hindurch galt die heisse wie jede kalte Zone als „unbewohnbar" für Menschen. Für die erstere hat sich diese Ansicht sehr bald durch faktische Beweise als eine Fabel erwiesen, und auch für die polaren Klimate gilt jene nur sehr eingeschränkt. Denn selbst in einer Entfernung von nur zehn Graden vom Nordpole sind Überreste eines ehedem zweifellos viel menschenreicheren Eskimo-Volksstammes angetroffen worden.

konnte. Ein Beispiel wird dies klarlegen. Wir werden sehen, dass das nordöstliche Sibirien einen zwar kurzen aber verhältnismässig sehr warmen Sommer besitzt, der jedoch nicht ganz selten durch heftige, vom nördlichen Eismeer kommende Froststürme unterbrochen wird. An einem bestimmten Tage z. B. weht ein solcher Nordwind und drückt die für gewöhnlich obwaltende hohe Temperatur um ein bedeutendes herab; dann ist offenbar der klimatische Normalzustand durch die augenblickliche Wetterlage vollkommen verändert. Mit Peschels Vereinigung zweier unter Umständen sehr verschiedenartiger Dinge in einem einheitlichen Begriffe werden wir so wenig auskommen wie mit A. v. Humboldts Vorschlage, als Klima die Gesamtheit aller derjeniger Witterungszustände gelten zu lassen, von welchen unser menschlicher Organismus nach irgend einer Seite hin beeinflusst wird. Denn wenn wir uns die menschliche Bewohnerschaft völlig hinwegdenken, behalten verschiedene Teile der Erde doch immer noch ihr verschiedenes Klima, und wir haben auch ein unzweifelhaftes Recht, von den klimatischen Zuständen anderer Weltkörper, etwa der Planeten Saturn und Merkur, zu sprechen, obschon wir uns dieselben absolut nicht durch Lebewesen nach Art des Menschen besiedelt vorstellen dürfen. Die Auffassung Peschels ist somit zu weit und ungenau, diejenige Humboldts im Gegenteile zu enge, und wir können nichts besseres thun als uns zu derjenigen zu bekennen, welche von dem fraglos gründlichsten Kenner dieses Teiles der Meteorologie, von Hann*), herrührt. „Die Klimalehre wird die Aufgabe haben, uns mit den mittleren Zuständen der Atmosphäre über den verschiedenen Teilen der Erdoberfläche bekannt zu machen, ohne darauf zu verzichten, uns auch die Abweichungen davon kennen zu lehren, welche innerhalb längerer Zeiträume an demselben Orte eintreten können.“ Während das Wetter etwas durchaus regelloses, willkürliches zu sein scheint, treten doch immer gewisse Regelmässigkeiten im Gange der meteorologischen Elemente für einen gegebenen Ort und für eine gegebene Zeit zutage, und diejenige Disziplin, welche, mit dem Dichter zu reden, „den ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht“ zu suchen bestrebt ist, soll eben die theoretische Klimatologie sein. Die Wissenschaft von der Atmosphäre hat, solange Dove das Szepter führte (s. d. Einleitung), darunter zu leiden gehabt, dass man sich um das Wetter zu wenig, um das Klima zu viel kümmerte; heute weiss man beiden gerecht zu werden und schätzt auch die Vorteile keineswegs gering, welche für die Lösung meteorologischer Fragen im engeren Sinne aus der gründlichen Kenntnis des allgemeinen klimatischen Charakters einer gewissen Erdstelle entfliessen. Als treffliche Hilfsmittel für die Gewinnung solcher Kenntnis stehen uns die umfassenden Werke von Hann und Woeikow**) zur Verfügung.

Das Klima eines Ortes wird bedingt durch des letzteren klimatische Elemente oder klimatische Faktoren, nicht etwa in

*) Hann, Handbuch der Klimatologie, S. 2.

**) Woeikow, Die Klimate der Erde, 2 Bände, Jena 1887. Das Werk war ursprünglich in russischer Sprache erschienen. doch hat der Autor selbst die deutsche Bearbeitung besorgt, an welche wir uns in folgendem anlehnen. Die Schriften von Hann und Woeikow ergänzen sich in willkommenster Weise.

dem Sinne, dass durch dieselben das erstere arithmetisch bestimmt, dass das Klima als eine geschlossene mathematische Funktion der Elemente darzustellen wäre, sondern einzig und allein so, dass die genaue Kenntnis der Faktoren die Formulierung einer zutreffenden Klimacharakteristik möglich macht. Beispiele hiefür werden sich uns weiter unten, bei der klimatischen Detailbeschreibung des Erdganzen, in Menge ergeben; für jetzt fragen wir nur nach den klimatischen Faktoren, welche als massgebend anzuerkennen sind, und ordnen dieselben nach ihrem Range, d. h. nach dem Grade ihres Einflusses auf die Klimagestaltung. Mit Hann, dem wir bei der systematischen Anlage seines Buches ganz von selbst zu folgen genötigt sind, ziehen wir in betracht die Temperaturverhältnisse, die atmosphaerische Feuchtigkeit, die Bewölkung, die Winde, den Luftdruck, die nicht durchaus gleichartige chemische Zusammensetzung der Luft und endlich die phaenologischen Anzeichen. Es wird sich herausstellen, dass diejenigen Elemente, welche für die klimatische Charakteristik ins Gewicht fallen, keineswegs die gleichen sind, welche in der meteorologischen Dynamik die Hauptrolle spielen, was wiederum recht deutlich gegen die Verquickung der Begriffe Klima und Wetter spricht.

A. Temperaturverhältnisse.

Wie man durch Verbindung der Beobachtungen an einem Blankkugel- und an einem Schwarzkugelthermometer ein Maas der wahren Luftwärme gewinnt, haben wir bereits oben gesehen; auch war dort von den Vorsichtsmassregeln die Rede, welche bei Aufstellung der Thermometer eingehalten sein wollen*). Zunächst kommt es darauf an, die wahre Tagestemperatur kennen zu lernen. An und für sich wäre es nötig, zu diesem Zwecke das krummlinige Trapez $AA_1 B_1B$, dessen gekrümmte Seite AB der Stift eines kontinuierlich arbeitenden Thermometrographen verzeichnet hatte, nach Anleitung von Fig. 29 in ein Rechteck A_1B_1ED zu verwandeln; dessen Seite $B_1E = A_1D$ würde dann das genaue Temperaturmittel des Tages ergeben. In Ermanglung von Registrierinstrumenten muss man sich damit begnügen, aus einzelnen geeignet über den ganzen Tag verteilten Aufzeichnungen ein Mittel zu nehmen, doch ist es, wie namentlich von Erk gezeigt ward, durchaus keine gleichgiltige Sache, auf welche Tagesstunden man die Beobachtungen verlegt**). Nimmt man aus den 365 Tagesmitteln wiederum das arithmetische Mittel, so erhält man in aller Strenge das, was mittlere

*) Anschliessend an ältere Wahrnehmungen von Renou hat Hann festgestellt, dass es z. B. gar nicht einerlei ist, ob man auf dem Lande oder in der Stadt beobachtet. Die vielen Strahlungseinflüsse innerhalb des Häuserkomplexes bedingen eine höhere Temperatur; die Differenz gegen das Flachland kann bis auf $^1/_2{}^0$ und sogar 1^0 ansteigen.

**) Gegen Schluss des ersten Hauptstückes hin ist bereits dargelegt worden, welche Untersuchungen, zumal durch v. Bezold und Erk, über die Wahl zweckmässiger Beobachtungsstunden angestellt worden sind. Die Notwendigkeit, einheitliche Beobachtungstermine zu wählen, ward, wie Hellmann in seiner Geschichte des preussischen meteorologischen Institutes erzählt, zuerst von dessen erstem Dirigenten Mahlmann hervorgehoben, doch blieb dessen Streben zunächst ziemlich erfolglos, und selbst heutigen Tages steht in dieser Hinsicht noch nicht alles so, wie es wünschenswert wäre.

Jahrestemperatur zu nennen ist; insofern jedoch dieser Wert erfahrungsgemäss nur wenig von demjenigen abweicht, welcher durch Summation der Monatsmittel und Division dieser Summe durch 12 sich ergibt, und insofern auch diese Monatsmittel selbst ein bedeutsames klimatologisches Element repräsentieren, wird das Jahresmittel gemeiniglich aus den Monatsmitteln berechnet. Je grösseren Temperatursprüngen eine gewisse Gegend unterworfen ist, eine umso grössere Jahresreihe wird selbstverständlich von nöten sein, um die Mittel mit der wünschenswerten Genauigkeit zu erhalten. Die Genauigkeit der Monatsmittel muss unter sonst gleichen Umständen eine viel geringere sein als diejenige der Jahresmittel.

Wichtig ist es auch, in der Differenz zwischen den Temperaturen des wärmsten und des kältesten Monats ein Mass für die mittlere Jahresschwankung der Temperatur kennen zu lernen. Für Wien berechnet Hann diese Grösse auf 22,5 °.

Die astronomische Ursache für die Thatsache, dass von einer Jahresperiode der Wärme gesprochen werden muss, darf hier als im wesentlichen bekannt ausgesetzt werden. Stünde die Achse der in einer — wenig exzentrischen — Ellipse um die Sonne sich bewegenden Erdkugel senkrecht auf der Bahnebene, so gäbe es keine Jahreszeiten; die Punkte des Aequators hätten die Sonne jahraus jahrein im Zenit, und die Pole würden von den parallel zum Aequator einfallenden Strahlen niemals direkt getroffen. Die Neigung der Drehungsachse dagegen bewirkt es, dass nach Umfluss einer Zeit von etwas weniger als 365,25 Tagen die Bestrahlungsverhältnisse genau wieder die nämlichen werden*), und damit ist eben die Jahresperiode gegeben. Neben dieser ist nun natürlich auch die durch den verschieden hohen Stand der Sonne bedingte Tagesperiode oder, wie man wohl auch sagt, der tägliche Temperaturgang in betracht zu ziehen. Zur Zeit des Sonnenaufganges herrscht ein Minimum, dann steigt die Wärme ununterbrochen, bis sie zwischen 1h und 2h mittags — wenigstens im ebenen Binnenlande, denn an der Küste und auf Höhen konstatiert man eine Verfrühung — ihr Maximum erreicht. Vergleicht man während der Tageszeit die Stände eines Maximum- und Minimumthermometers, so hat man unmittelbar die tägliche Amplitude der Temperatur, welche bei der Charakteristik eines Ortes in klimatischer Beziehung wohl beachtet sein will. In manchen Fällen können Örtlichkeiten mit stark ausgeprägter Schwankung gleichwohl ein hygieinisch günstiges Klima besitzen, es braucht nur der Nachmittag und der Abend sich durch gleichmässige und relativ hohe Temperatur auszuzeichnen, denn gegen die Morgenkühle vermag man sich ja leicht zu schützen.

Die Mitteltemperatur eines bestimmten Monates kann und wird in verschiedenen Jahren selbstredend nicht immer die gleiche sein, doch ist diese Veränderlichkeit der Jahre von ungleich geringerer klimatologischer Bedeutung als jene in kürzeren Perioden eintretenden

*) Klimatisch wirkt zur Zeit die Exzentrizität der Erdbahn gar nicht ein; ehedem mag es anders gewesen sein (vgl. u. das über die Eiszeit gesagte). Im Dezember steht die Erde der Sonne näher als im Juli (s. u.), und trotzdem ist die Verteilung der Monatstemperatur die uns bekannte.

unregelmässigen Temperaturschwankungen, welche man Veränderlichkeit der Temperatur schlechtweg nennen kann. Diese ist es, welche dem Klima einen Stempel aufdrückt; je nachdem sie sich in engen Grenzen hält oder aber eine namhafte Grösse erreicht, sagt man, es sei das Klima konstant oder variabel. Als Mass kann man die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten im Verlaufe eines Monates beobachteten Thermometerstande annehmen, und ebenso kann auch von einer (unperiodischen) Jahresschwankung gesprochen werden. Ein besonders scharfes Mass für die Veränderlichkeit der Luftwärme erhält man dadurch, dass man die Temperaturdifferenzen von einem Tag zum anderen während eines ganzen Monates bildet und daraus wieder ein Mittel herstellt*). Nicht unbedingt notwendig, aber doch gut ist es, die mittleren Monats- und Jahresextreme zu wissen, und ebenso bedarf man der Kenntnis des mittleren Datums für den ersten Frost im Herbste und des letzten Frost im Frühling, aus welchen Daten sofort auch die Zahl der frostfreien Tage im Jahre sich ergibt.

Was dieses letztgenannte Element anbetrifft, so sind in neuerer Zeit umfassende Veranstaltungen getroffen worden, um sich dasselbe mit möglichster Genauigkeit durch Feststellung derjenigen Termine zu verschaffen, zu welchem das Zugefrieren und Wiederaufthauen der Gewässer stattfindet. Der finländische Physiker Hällström war zu Anfang dieses Jahrhunderts der erste, welcher systematisch solche Forschungen betrieb; neuerdings verdankt man eine Reihe vertrauenswürdiger Resultate den aufopfernden Arbeiten des Schweden Hildebrandsson und des Russen Rykatschew**). Doch ist noch sehr viel zu thun,

*) Hann, S. 18.

**) Der Zweck, welchen Hildebrandsson anstrebt, ist der, alle diejenigen Punkte durch Kurven, die sogenannten Aequiglazialen, mit einander zu verbinden, für welche die Eisbildungsphase dieselbe ist. Für Skandinavien konnte er diese Linien wirklich konstruieren; sie lassen ausnahmslos eine starke Ausbuchtung gegen die Längsachse der Halbinsel hin erkennen, so dass also, wie ja auch von vornherein zu erwarten war, an der Küste die Gewässer länger offen bleiben und früher aufgehen als in den Gebirgsgegenden des Innern. Im äussersten Norden der Lappmark hält sich die Eisrinde bis zu 230 Tagen, während im Süden 90 Tage das Maximum darstellen. Einen noch ungleich grossartigeren Stoff verarbeitet Rykatschew (Über den Auf- und Zugang der Gewässer des russischen Reiches, zweiter Supplementband zum Repertorium der Meteorologie, St. Petersburg 1887), dessen Schrift zum teile auf älteren Vorarbeiten des Akademikers Wesselowsky beruht. Rykatschew fühlte die Notwendigkeit, den Begriff der Aequiglazialen noch mehr zu spezialisieren, und er konstruierte demzufolge für das europäische und asiatische Russland dreierlei Kurvensysteme. Die Isotaken — εἰάκην, ich gehe auf — ziehen sich durch alle die Orte hindurch, für welche das Wasser sich gleichzeitig vom Eise befreit; die Isopektiken — πηκτός, erstarrt — setzen alle diejenigen Orte miteinander in Verbindung, welche zum nämlichen Zeitpunkte von der ersten Eisbildung betroffen werden; die Isopagen endlich — πάγος, das Erstarrte — sind die Ortskurven für alle die Punkte, an denen sich die Frostdecke über dem Wasser eine gleiche Zahl von Tagen gehalten hat. Das Diagramm, welches der russische Forscher entwirft, ist äusserst lehrreich; einen Teil desselben übersieht man in unserer Fig. 50, welche die Isopektiken zur Anschauung bringt. In den Pontusländern lässen sich aus naheliegenden Gründen keine derartigen Kurven ziehen; die erste Isotake zeigt sich bei Jekaterinodar im Territorium der tschernomorzkischen Kosaken, wo der Kuban um den 15. Februar herum aufzugehen pflegt. Alle diese Linien verlaufen nicht etwa

bis auch für gemässigte Klimate die Bedingungen der Eisbildung an der Hand statistischen Materiales ausreichend erkannt sein werden.

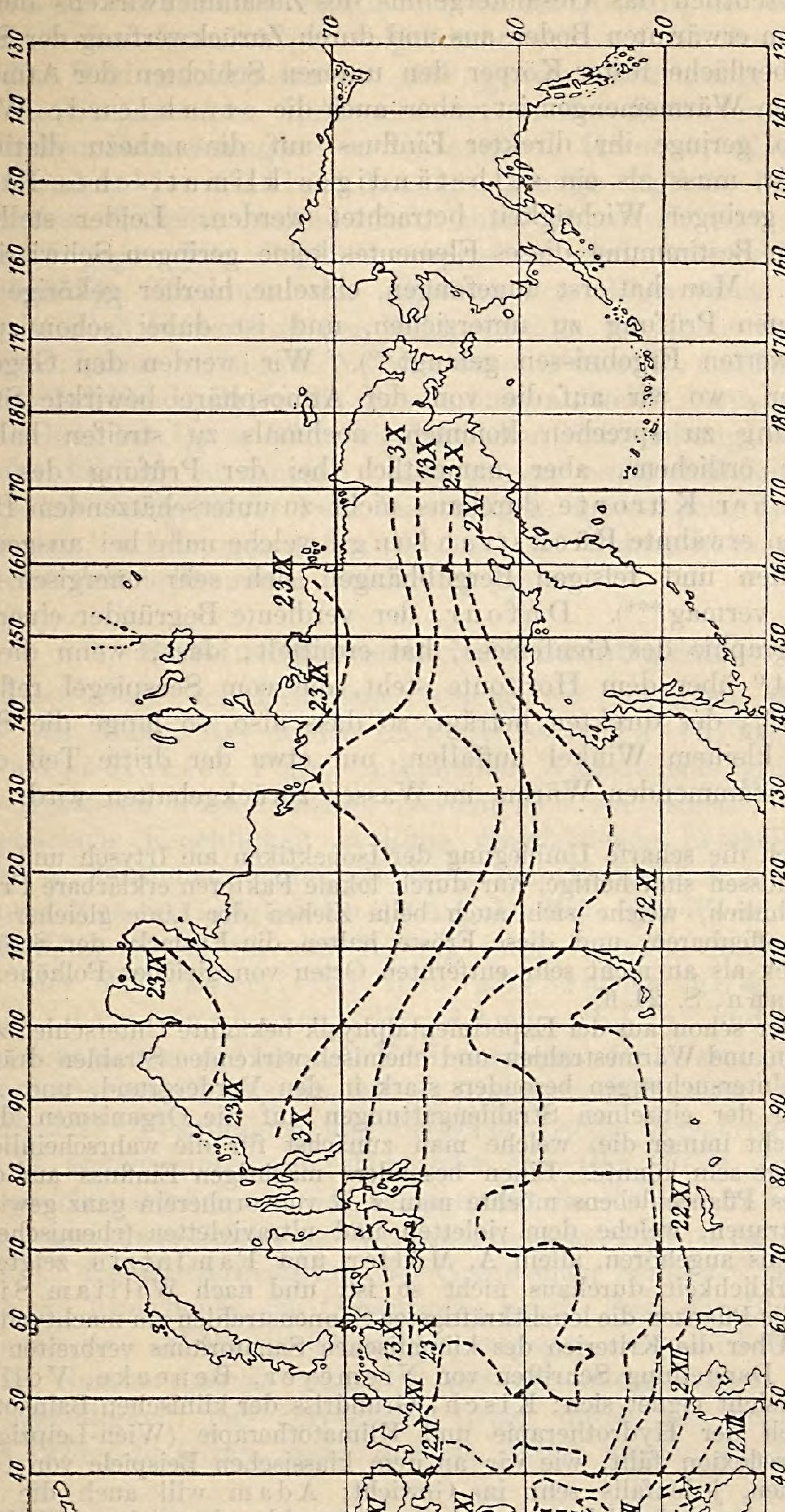


Fig. 50.

parallel zu den Parallelkreisen der Erdkugel, sondern sie erheben sich über jene im Westen und sinken weiter östlich unter sie herab. Recht merkwürdig

Wenn von der Luftwärme schlechthin, ohne nähere Einschränkung, die Rede ist, so darf nicht ausser acht gelassen werden, dass dieselbe wesentlich das Gesamtergebnis des Zusammenwirkens der durch Leitung vom erwärmten Boden aus und durch Zurückwerfung der Strahlen von der Oberfläche fester Körper den unteren Schichten der Atmosphäre übermittelten Wärmemengen ist; aber auch die strahlende Wärme an sich, so geringe ihr direkter Einfluss auf die nahezu diathermane Lufthülle ist, muss als ein selbständiges klimatisches Element von nicht geringer Wichtigkeit betrachtet werden. Leider stellen sich der exakten Bestimmung dieses Elementes keine geringen Schwierigkeiten entgegen *). Man hat erst angefangen, einzelne hierher gekörige Fragen einer genauen Prüfung zu unterziehen, und ist dabei schon zu recht bemerkenswerten Ergebnissen gelangt **). Wir werden den Gegenstand weiter unten, wo wir auf die von der Atmosphäre bewirkte Strahlenverschluckung zu sprechen kommen, nochmals zu streifen haben. — Von mehr örtlichem, aber namentlich bei der Prüfung des Wertes klimatischer Kurorte durchaus nicht zu unterschätzendem Interesse ist die schon erwähnte Rückstrahlung, welche nahe bei ausgedehnten Wasserflächen und felsigen Bergabhängen sich sehr energisch geltend zu machen vermag ***). Dufour, der verdiente Begründer einer physischen Geographie des Genfersees, hat ermittelt, dass, wenn die Sonne nur noch 4^0 über dem Horizonte steht, die vom Seespiegel reflektierte Wärme $68^0/_0$ der direkten beträgt, so dass also, so lange die Strahlen unter sehr kleinem Winkel auffallen, nur etwa der dritte Teil der von der Sonne stammenden Wärme im Wasser zurückgehalten wird. Dieser

ist u. a. auch die scharfe Umbiegung der Isopektiken am Irtysch und am Om; an diesen Flüssen sind heftige, nur durch lokale Faktoren erklärbare Frühjahrsfröste gewöhnlich, welche sich auch beim Ziehen der Linie gleicher Monatstemperatur offenbaren, und diese Fröste halten die Eisdecke der Ströme hier länger zurück als an nicht sehr entfernten Orten von gleicher Polhöhe.

*) Hann, S. 24 ff.

**) Der schon aus der Experimentalphysik bekannte Unterschied zwischen Lichtstrahlen und Wärmestrahlen und chemisch wirkenden Strahlen drängt sich bei diesen Untersuchungen besonders stark in den Vordergrund, und zwar ist die Wirkung der einzelnen Strahlengattungen auf die Organismen der Erde durchaus nicht immer die, welche man zunächst für die wahrscheinlichste zu halten geneigt sein könnte. Einen besonders mächtigen Einfluss auf die Entwicklung des Pflanzenlebens möchte man z. B. vonvornherein ganz gewiss jenen Strahlen zutrauen, welche dem violetten und ultravioletten (chemischen) Teile des Spektrums angehören, allein A. Müller und Famintzin zeigten, dass dem in Wirklichkeit durchaus nicht so ist, und nach William Siemens wirken auf die Pflanzen die leuchtkräftigsten Sonnenstrahlen am machtvollsten ein.

***) Über die Kriterien des klimatischen Sanatoriums verbreiten sich in eingehender Darstellung Schriften von Niemeyer, Benecke, Volland u. a.; zur Übersicht eignet sich: Kisch, Grundriss der klinischen Balneotherapie, einschliesslich der Hydrotherapie und Klimatotherapie (Wien-Leipzig 1883). Die Wärmereflexion fällt, wie wir an dem klassischen Beispiele von Gries bei Bozen ersehen, jedenfalls sehr ins Gewicht; Adam will auch die Achsenrichtung des hauptsächlich von den Sonnenstrahlen bestrichenen Geländes in betracht gezogen wissen. Wieder auf einem anderen, aber keineswegs unwichtigen Punkt hat Wollny unsere Aufmerksamkeit gelenkt, nämlich auf die Färbung des bestrahlten Bodens. Während der warmen Jahreszeit ist, um nur eines herauszugreifen, lufttrockener Boden bei dunkel gefärbter Oberfläche gewöhnlich wärmer, als hell gefärbter.

Vermehrung der Tageswärme steht gegenüber ein beträchtlicher Verlust, welcher zur Nachtzeit aus der Wärmeausstrahlung des Bodens gegen den Weltraum resultiert; von der Messung des Betrages wird ebenfalls weiter unten einiges beigebracht werden. Schliesslich verdient auch die Bodentemperatur eine gewisse Beachtung. Allerdings dringt die Sonnenwärme nicht sehr tief in den Erdboden ein, wie die theoretischen Betrachtungen von Quetelet, Kämtz, Kupffer und ganz besonders von Saalschütz zur genüge ergeben haben, allein eine gewisse Schicht, welche nach unten zu durch eine neutrale Schicht gegen jene Regionen abgegrenzt wird, innerhalb deren sich die allmählige Zunahme der terrestrischen Eigenwärme bemerklich macht, ist doch immer von den Wärmestrahlen der Sonne durchdrungen. Und zwar haben wir durch Wild erfahren, dass Boussingault sich im Irrtume befand, als er die Behauptung aufstellte, unter den Tropen hörten schon bei $^1/_2$ m Tiefe die jährlichen Schwankungen der Wärme auf, sich fühlbar zu machen; man müsste wahrscheinlich auch dort noch bis zu viel grösserer Tiefe hinabsteigen, um zu jener Isothermfläche zu kommen, welche gegen den Wechsel der Jahreszeiten an der Erdoberfläche sich vollkommen gleichgiltig zeigt.

B. Atmosphaerische Feuchtigkeit.

Dass nach der Definition, welche wir von dem Worte Klima gaben, der Menge des in der Luft, sei es in gasförmiger sei es in kondensierter Form, enthaltenen Wassers eine grosse Wichtigkeit beigemessen werden müsse, versteht sich von selbst. Wie man die atmosphärische Feuchtigkeit in ihren verschiedenen Erscheinungsformen graduell zu bestimmen habe, ist im ersten Hauptstück gezeigt worden. Hier handelt es sich lediglich um die Angabe derjenigen Werte, deren Kenntnis die Klimatologie für die Lösung ihrer Aufgabe fordert. Dieselbe bedarf der Monatsmittel des absoluten und relativen Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre, und zwar nimmt sie an dem Grade und an den Veränderungen der relativen Feuchtigkeit weit lebhafter anteil, als an den analogen Verhältnissen der absoluten Feuchtigkeit. Vegetations- und tierisches Leben verspüren es deutlich, wenn die erstgenannte sich erhöht oder erniedrigt, denn es wird durch sie, zugleich natürlich mit der Temperatur, die Evaporationskraft bedingt, und diese Stärke der Verdunstung wiederum ist es, nach welcher sich (s. o.) das Wasserbedürfnis der Organismen bemisst.*) Feuchte Luft stimmt die Funktionen des Organismus herab, lässt das Blut langsamer zirkulieren und erhöht die Schlaflust, wogegen trockene Luft die Thätigkeit des Nervensystemes ansporut und mit energischerer Pulsfrequenz die Notwendigkeit, das körperliche Leben durch den Schlaf zeitweilig ausser Aktion zu setzen, vermindert.**) Auch werden die regelmässigen

*) Hann, S. 34.

**) Die bekannte Nervosität der Amerikaner und hauptsächlich der unter dem Namen „Yankees“ bekannten Bewohner der Neuengland-Staaten wird von einem so scharfen Beobachter wie Desor auf die geringe relative Feuchtigkeit der dortigen Luft zurückgeführt. Schon der Körperbau des Volkes gibt ein Anzeichen dafür, dass der menschliche Leib dortselbst viel weniger Feuchtigkeit

und unregelmässigen Temperaturoszillationen vom Menschen sehr verschieden empfunden, je nachdem die ihn umgebende Luft reich oder arm an Feuchtigkeit ist. In trockenen Ländern bewirkt auch ein recht jäher Temperaturwechsel nicht leicht Unwohlsein, während der Aufenthalt in sehr feuchter Luft in diesem Falle fast immer Übelbefinden nach sich zieht. Wir konstatieren einstweilen blos einfach diese Thatsache, indem wir uns vorbehalten, später, wo von den charakteristischen Eigenschaften des Tropenklimas zu sprechen sein wird, nochmals auf die hygienische Bedeutung der Luftfeuchtigkeit zurückzukommen.

Von der Menge des in der Atmosphäre enthaltenen Wassers und von dessen Kondensationsgrade erweisen sich Intensität, Häufigkeit und Art der atmosphärischen Niederschläge abhängig. Man will wissen, wie gross die Monats- und Jahressummen der Niederschlags-Wasserhöhe sind, wie viel Tage mit Niederschlägen überhaupt auf den betreffenden Ort entfallen, wobei vom Thau abgesehen werden kann, endlich will man die Regenwahrscheinlichkeit für einen gewissen Zeitraum kennen. Minder notwendig, wennschon für die Vervollständigung des Gesamtbildes wünschenswert erscheint die Kenntnis der Gewitter- und Hageltage, dagegen hat sich, worauf wir bereits früher hingewiesen, die Notwendigkeit immer mehr herausgestellt, auch den Schneeverhältnissen Beachtung zu schenken und sowohl die Zeit, innerhalb deren Schnee fiel, als auch Dauer und Dicke der Schneedecke in Rechnung zu ziehen.*)

in sich aufnimmt und somit auch weniger auszuscheiden gezwungen ist, und die sprichwörtliche Magerkeit eines Bürgers der Union wird selten erhalten, wenn er Jahre hindurch seinem Vaterlande ferne bleibt. Der bekannte Vertreter der Lufttherapie, Benecke, hat die Auffassung Desors als eine vielleicht zu einseitige bezeichnet, aber zugegeben, dass in jener ein berechtigter Kern enthalten sei. Sehr interessante und anregende Erörterungen über das mit obigem Beispiele angeschlagene Thema gewährt das elfte, von den Beziehungen zwischen Klima und Menschengeschichte handelnde Kapitel von Ratzels „Anthropogeographie“ (Stuttgart 1882). U. a. ist hier auch die Meinung des bekannten Missionärs Krapf gedacht, welcher zufolge dass jetzt ausser allem Zweifel stehende Vorkommen zwerghafter Negerstämme im Osten des aequatorialen Afrika mit der in deren Lande ganz ungewöhnlich lange (sieben Monate) anhaltenden Regenzeit in ursächlicher Verbindung stände. An und für sich geht diese Erklärung gewiss zu weit, aber das mag nach dem, was vorher gesagt wurde, immerhin eingeräumt werden, dass Trockenheit des Klimas mehr dem Längenwachstum des menschlichen Körpers günstig ist, während abnorme hohe Feuchtigkeit mehr das Dickenwachstum zu begünstigen scheint.

*) Obwohl Bruhns schon vor längerer Zeit den von ihm beaufsichtigten meteorologischen Stationen des Königreichs Sachsen Berücksichtigung des Schnees als besonderen klimatischen Faktors anempfohlen hatte, nahm sich doch erst neuerdings die Uralische Naturforschergesellschaft in Jekaterineburg der Schneemessungen angelegentlicher an, welche von Woeikow (s. dessen oben zitiertes Werk, S. 80) in diesem Sinne inspiriert worden war. Unter den deutschen Staaten ging Bayern mit gutem Beispiele voran, für dessen alpine Distrikte die Nützlichkeit solcher Bestimmungen sich auch von selbst empfahl. C. Lang lässt seit Herbst 1886 die regelmässige Beobachtung der Schneebedeckung an zwanzig zwischen Bodensee und Salzach verteilten Stationen vornehmen und stellt denselben zu diesem Zwecke eigens hierfür konstruierte Schneepegel zur Verfügung, welche aus Eschenholz gefertigt und mit Zentimeter-Graduierung versehen sind.

Endlich sei daran erinnert, dass auch die Aufnahmsfähigkeit und das Absorptionsvermögen des Bodens eine gewisse Rolle für die Gestaltung eines lokalen Klimas unter Umständen zu spielen vermögen*). Denn der erkältende Einfluss des Erdreiches auf die ihm nächst angelagerten Luftschichten wird offenbar mit davon abhängen, ob das eingedrungene meteorische Wasser rasch durch die Bodendecke durchsickert oder aber längere Zeit in nächster Nähe der Oberfläche stehen bleibt. Nicht minder wird der Klimatologe auch den Stand des Grundwassers nicht aus dem Auge verlieren**).

C. Bewölkung.

Wir haben oben bereits erfahren, in welcher Weise der Bewölkungsgrad des Himmelgewölbes numerisch fixiert werden kann. Für die einzelnen Monate und — wo möglich — Tage soll diese Zahl in den klimatologischen Tabellen enthalten sein***), weil diese Ziffer uns ein Mittel zur Beurteilung der direkten Wirkung der Licht- und Wärmestrahlung in einem Klima an die Hand gibt†). Besser noch ist es, die Dauer des Sonnenscheines für jeden Tag durch selbstregistrierende Apparate — von den Briten „Sunshine recorder" genannt — aufzeichnen zu lassen; das diesem Zwecke meistens dienende Instrument von Campbell-Stockes ist unlängst durch ein von J. Maurer in Zürich angegebenes überholt worden (s. o.). Neben der eigentlichen, in grösserer Höhe schwebenden Wolke kommt auch der unmittelbar über der Erde befindliche Nebel in betracht, weil er die Bestrahlung hindert und eine Quelle atmosphärischer Feuchtigkeit darstellt. Bei sonstiger naher Übereinstimmung der Klimate zweier Orte A und B ist es offenbar gar nicht

*) Wie sich die Feuchtigkeits- und Temperaturverhältnisse des Bodens als Funktion des „Fallens" und „Streichens" (bergmännisch gesprochen) eines Bergabhanges darstellen, darüber belehrt gründlich eine umfassende Abhandlung Wollnys in dessen Zeitschrift „Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik" (10. Band, S. 1 ff.).

**) Vgl. hiezu Soyka, Die Schwankungen des Grundwassers mit besonderer Berücksichtigung der mitteleuropäischen Verhältnisse (Pencks Geogr. Abhandlungen, 2. Band, 3. Heft, Wien 1888). Diese Schrift des bekannten Hygienikers darf als die beste Schilderung unseres Wissens auf diesem namentlich für die medizinische Geographie, die Epidemienlehre, so wichtigen Gebiete betrachtet werden. Wir sehen hier naturgemäss von dem Umstande ab, dass auch die oberirdischen Wasserläufe durch laterale Infiltration durchlässiger Bodenschichten ihren Anteil an der Erhaltung des Grundwassers auf einem bestimmten Niveau, resp. an dessen Hebung und Senkung haben, und halten uns lediglich an die meteorischen Faktoren. Da zeigt sich denn im allgemeinen, dass, wenn man sowohl für die Niederschläge wie für die Grundwasserstände die übliche graphische Darstellung durch Abszissen und Ordinaten in Anwendung bringt, die Kurven den entschiedensten Anti-Parallelismus erkennen lassen, so zwar, dass der höchste Grundwasserstand mit dem Minimum, der niedrigste mit einem der beiden Maxima des Niederschlages korrespondiert.

***) Hann, S. 39.

†) Liznar hat ermittelt, dass an den meisten Orten die Bewölkung im Laufe eines Tages zweimal ein Maximum und ebenso oft ein Minimum aufweist. Nur Madrid, Zi-ka-wei in China (s. o.) und Los Angeles in Californien machen, indem sie sich mit einem einzigen Maximum und Minimum pro Tag zu begnügen scheinen, eine Ausnahme von dieser Regel. Die Bewölkungsfrequenz gestattet Liznar zufolge eine Klassifikation nach vier Grundtypen.

unwesentlich, wenn in A die Zahl der Nebeltage vielleicht vier- oder fünfmal so gross ist, als in B. „Sowie der Nebel ersetzt auch der Thau in manchen Klimaten während der trockenen Jahresperiode den Regen und tränkt überall die Vegetation mit seiner Feuchtigkeit, ohne dass dieselbe in der gemessenen Niederschlagungsmenge erscheint. Diese letztere gibt demnach nicht die ganze atmosphärische Wasserdampfkondensation an, welche der Vegetation zu gute kommt“*).

D. Winde.

Eine so hohe Bedeutung wie für die dynamische Meteorologie besitzen die Luftströmungen für die Klimakunde nicht, und deshalb erscheinen sie in unserem Systeme der klimatischen Faktoren auch erst an vierter Stelle. Doch kommt immerhin schon auf die Bewegung der Luft an sich, ohne Rücksicht auf die Richtung, in welcher sie sich vollzieht, ziemlich viel an, denn diese Bewegung ist rascher Verdunstung des Bodenwassers förderlich und erhöht das Evaporationsvermögen des Klimas. Dass es für die Gesundheit höher organisierter Wesen nicht gleichgiltig ist, ob die Luft stagniert oder immer wieder erneuert wird, versteht sich von selber. Da aber die Messung der Windstärke gewöhnlich nach der Beaufortschen Skale (s. o.), d. h. also bis zu einem gewissen Grade nach der subjektiven Schätzung eines jeden Beobachters erfolgt, so sind vergleichende Zusammenstellungen, wie sie gerade die Klimatologie wünschen muss, sehr erschwert. Leichter zu erhalten und ebenfalls von Erheblichkeit ist die Häufigkeit der verschiedenen Windrichtungen.**) An Orten, welche in die zu Beginn des vorigen Hauptstückes gekennzeichneten regelmässigen Windsysteme einbezogen sind, wird sich diese Aufgabe vereinfachen, und es sind hier die Ausnahmetage mit besonderer Aufmerksamkeit zu verzeichnen. Sehr viel kann ferner für die Klimacharakteristik geleistet werden durch die uns ebenfalls von früher her bekannten Windrosen, wie dies vortrefflich (s. o.) für ein relativ ausgedehntes Territorium von Schreiber nachgewiesen worden ist. In Ländern, welche durch hohe Gebirgswälle allenthalben von der Anteilschaft an den grossen tellurischen Zirkulationssystemen abgeschlossen sind, müssen sich sogenannte distinkte Klimatypen herausbilden, und diese werden denn auch von den mit besonderer Vorliebe aus bestimmten Weltgegenden wehenden Winden in ihrer Eigenart vorwiegend bestimmt sein.

E. Luftdruck.

Noch weniger bedeutsam als der Wind selbst ist die Ursache des Windes, der Luftdruck in seinen verschiedenen Abstufungen. Schwan-

*) Hann, S. 40.

**) Neben den schon früher angezogenen Untersuchungen von Augustin über das Umsetzen des Windes fallen für unseren augenblicklichen Zweck vielleicht noch mehr solche von Satke ins Gewicht, aus welchen hervorgeht, dass gewöhnlich das Häufigkeits-Maximum der Windrichtungen im Laufe der Monate um den Horizont herumwandert. Für die galizische Stadt Tarnopol z. B. hat im Januar der Südost ein relatives Maximum, im März und April tritt er dieses Vorrecht an den Ostwind ab, worauf im Mai und Juni der Nordost an dessen Stelle tritt. Gewisse Verschiedenheiten in den Ergebnissen Augustins und Satkes harren noch der Aufklärung.

kungen dieses Elementes lassen den normalen und selbst viele kranke Menschen ebenso unbeeinflusst, wie dies das Ersteigen eines Berges von geringer Höhe thut.*) Thomas weist zum Belege für diese Behauptung auf jene „pneumatischen Kammern" hin, welche man jetzt in verschiedenen Badeorten — wir nennen nur Ems und Reichenhall — eingerichtet hat, und welche den in ihrem Inneren befindlichen Patienten Druckunterschiede bis zu 300 mm in kurzer Frist durchzumachen nötigen, ohne dass selbst nur ein beängstigendes Gefühl die Folge dieser Prozedur wäre. Doch ist immerhin nach Stefan die Verdampfungsgeschwindigkeit in mathematisch angebbarer Weise vom Luftdrucke abhängig, und da erstere wieder je nach dem klimatischen Charakter einer Örtlichkeit variiert, so gehört auch die wechselnde Luftschwere zu denjenigen Instanzen, an welche bei gewissen klimatologischen Untersuchungen zu appellieren ist.

F. Verdunstung.

„Der Gesamteffekt von Luftwärme, Luftdruck, relativer Feuchtigkeit und mittlerer Luftbewegung auf eine freie Wasseroberfläche im Schatten oder in der Sonne äussert sich in dem Betrage der verdunsteten Wassermenge".**) Dass die Messung dieses Effektes durch sogenannte Evaporimeter zu den schwierigeren Aufgaben der beobachtenden Meteorologie gehört, neuerdings aber wesentliche Vervollkommnungen erfahren hat, das haben wir im ersten Hauptstück ersehen. Auf gewisse Kautelen, welche bei wirklich exakten Beobachtungen dieser Art in betracht kommen, scheint mit Nachdruck erst von Woeikow hingewiesen worden zu sein.***) Derselbe stellt der möglichen Verdunstung, auf deren Kontrolle unsere Instrumente zunächst abzielen, und welche die Raschheit des Überganges von Wasserdampf in Luft angibt, die wirkliche Verdunstung gegenüber, welche ihrerseits dem Quantum des von einer bestimmten Fläche abgegebenen Wasserdampfes gleich zu setzen ist. Allerdings ist, was den Gang der möglichen und wirklichen Verdunstung anbelangt, über jeder Wasserfläche, besonders also über Seen und Meeren, ein Parallelismus vorhanden, der die Schwierigkeit des Unterscheidens zwischen den beiden Arten von Verdunstung nicht hart empfinden lässt, und über feuchtem, mit Pflanzenwuchs bedecktem Boden wird es sich im ganzen ebenso verhalten. Anders in Wüsten, Steppen oder Felskesseln, wo die mögliche Verdunstung einen sehr hohen Wert annehmen kann, während in Wirklichkeit gar kein Wasser verdunstet, weil solches nicht existiert. Übrigens hat man auch die Mengen von Wasser, welche durch wirkliche Verdunstung aus ausgedehnten Wasserflächen in die Atmosphäre übergehen, nicht selten

*) Wenn wir mit v. Richthofen die peripherischen Regionen eines Kontinentes, aus welchen die Gewässer einem benachbarten Weltmeere entgegen rinnen, von den abflusslosen zentralen Regionen unterscheiden, so dürfen wir letztere auch wohl als solche betrachten, auf welche sich die oben aufgestellte klimatologische Kategorie bezieht. In der That finden wir diese Vermutung für das östliche Turkestan (jenseits der Pamir-Plateaux) vollauf bestätigt.

**) Hann, S. 47.

***) Woeikow, 1. Band, S. 19 ff.

ungeheuerlich überschätzt.*) — Der Prozess, mit welchem wir uns soeben zu beschäftigen hatten, ist allerdings der gewöhnliche, aber er bleibt doch nur so lange im Gange, als die Wassertemperatur über dem Thaupunkte der umgebenden Luft bleibt. Sobald erstere jedoch unter den Thaupunkt der Luft sinkt, was nach Forel und Dufour im Jahre 1867 für den ausströmenden Rhone-Fluss an nicht weniger als einundzwanzig Tagen statthatte, dann gibt die Wasserfläche nicht mehr Wasserdampf an die Luft ab, sondern sie nimmt solchen aus der Luft in sich auf. Woeikow hat diese Umkehrung des normalen Herganges auch in St. Petersburg gar nicht selten, und zwar dann beobachtet, wenn die Newa sehr kaltes Wasser aus dem mit Eis erfüllten Ladoga-See mitbrachte. Die bei offenem Wasser immerhin nur ausnahmsweise sich ereignende Verdichtung des Wasserdampfes begegnet uns viel häufiger an der Aussenseite von Gletschern und Schneefeldern, deren Nähe das Klima sonach nicht nur durch unmittelbare Herabsetzung der Temperatur sondern auch durch Erhöhung der Lufttrockenheit beeinflusst. Dass auch die Beträge des durch die kondensierende Wirkung des Gletschereises unserer Lufthülle entzogenen Wassers gar keine so minimalen sind, als man vielleicht meinen könnte, ist durch die Forschungen von Forel und Dufour ebenfalls ausser Zweifel gesetzt worden. Wir bemerken noch, dass das atmosphärische Wasser, welches in Gemässheit des Naturgesetzes einer Schneemasse von oben her einverleibt wird, sich energisch an der Arbeit des Schnee-Schmelzens beteiligt, eine Thatsache, welche namentlich von der physikalischen Geographie der Polarländer bemerkt zu werden verdient.

G. Zusammensetzung der Luft.

Bei den grundlegenden Erörterungen über die chemische Zusammensetzung unserer Atmosphäre wurde bereits die geographische Gleichförmigkeit dieser Zusammensetzung betont, und so darf an und für sich erwartet werden, dass die Klimatologie zur Chemie der Luft nur in sehr äusserlichen Beziehungen stehen werde. Dies ist denn auch in der That der Fall, das Vornehmen von Luft-Analysen gehört nicht zu den pflichtmässigen Verrichtungen des Klimatologen, und nur lokale Störungen vermögen die Gewichtsmengen der einzelnen Grundstoffe in einer der Messung zugänglichen Weise zu verändern.**)

*) So ist z. B. behauptet worden, dass von der Oberfläche des mittelländischen Meeres zwischen Italien und Frankreich im Jahre 3 m verdunsteten, genug, um die Menge des zuströmenden Süsswassers und Regenwassers vollständig zu paralysieren und eine merkbare Erniedrigung des Meeresspiegels zu veranlassen. Für tropische Ozeane ward sogar die jährliche Verdunstungshöhe mit 7 m beziffert. Dass diese Zahlen eine starke Übertreibung involvieren, war von Anfang an zu argwöhnen, und die beim Suezkanal von Monteil wirklich ausgeführten Verdunstungsvermessungen vergewissern uns denn auch darüber, dass es sich in der Natur um weit geringere Beträge handelt.

**) Es sei gestattet, an dieser Stelle einige Nachträge zu unseren früheren Ausführungen hier einzuschalten, Nachträge, zu denen der Stoff aus erst in allerjüngster Zeit erschienenen Arbeiten entnommen ward. Die Behauptung v. Jollys, dass der Sauerstoffgehalt der Luft örtlich und zeitlich namhaften Schwankungen unterliege, ist mit Erfolg von Kreusler bestritten worden, der auch den Fehler in den Schlüssen des Münchener Physikers aufdeckte und

H. Luftelektrizität.

Bislang sind noch keine Anzeichen dafür aufgefunden worden, dass die verschieden starke Ladung der Atmosphäre mit Elektrizität irgend eine klimatische Rolle spiele. Es ist für uns vorteilhaft, dass es sich so verhält, denn wir verfügen ja, wenn wir auch für einen bestimmten Ort den periodischen Gang der statischen atmosphärischen Elektrizität mit einiger Sicherheit zu verfolgen imstande sind, doch keineswegs über Hilfsmittel, um die verschiedenen elektrischen Potentiale der einzelnen Klimate ihrem Absolutwerte nach unter einander zu vergleichen.*)

J. Pflanzen-Phaenologie.

In neuerer Zeit hat eine allerdings schon seit mehr als hundert Jahren bestehende, aber früher wenig beachtete Grenzdisziplin zwischen Botanik und Klimakunde mehr von sich reden gemacht: die sogenannte Phaenologie der Gewächse. Insofern dieser Wissenszweig nicht nur, wie es ursprünglich die Absicht war, von der Kenntnis klimatischer Agentien Nutzen für nächstliegende phytologische Zwecke zu ziehen beabsichtigt, sondern seinerseits wiederum der Klimatologie die von dieser geleisteten Dienste zurückzahlen zu können hofft, dürfen auch wir uns einer kurzen Darlegung der Prinzipien, Methoden und Endziele der

bei Morley und Hempel Billigung seiner Angaben fand. Die genannten drei Chemiker entschlossen sich, Luftproben, welche jeder von ihnen an seinem Wohnorte (Bonn, Cleveland in den Vereinigten Staaten, Dresden) genommen hatte, zu einunddenselben Zeit zu analysieren; Hempel zog auch noch Luftproben aus Tromsö und Pará bei. Mit Abrechnung des als fast konstant vorauszusetzenden Kohlensäuregehaltes ergaben sich für Sauerstoff nachstehende Zahlenwerte: Bonn 20,922 %; Cleveland 20,933 %; Dresden 20,90 %; Norwegen 20,92 %; Brasilien 20,89 %. Das Mittel aus diesen Bestimmungen ist 20,91 %. Es sind also, wie dies ja auch aus den früher genannten Untersuchungen von Ucke erhellt, ohne Zweifel die Sauerstoffmengen nicht auf der ganzen Erde die nämlichen, doch hatte v. Jolly die Differenzen beträchtlich überschätzt. Erfreulich ist es, dass nahe gleichzeitig mit dem Berichte über diese Versuchsreihe auch ein solcher über neue und genaue Bestimmungen des Kohlensäuregehaltes der Luft bekannt wurde. Blochmann nahm das von Dalton angedeutete, unter dem Namen v. Pettenkofers aber mit Recht bekannter gewordene Verfahren wieder auf, dessen Idee darauf hinausläuft, ein abgeschlossenes Luftvolumen in möglichst innige Berührung mit Barytwasser zu bringen und diese Flüssigkeit nach Absatz des Niederschlages zu titrieren. Da fand sich denn der durchschnittliche Kohlensäuregehalt unserer Luft = 0,0003; ein Gegensatz zwischen Meeres- und Landluft war nach dieser Seite hin nicht zu erkennen, und lokale Einflüsse (Vegetation, Verbrennung und Verwesung) alterierten den Gehalt der Luft an CO_2 nur in allernächster Nähe der Ursprungsstelle; ein bischen weiter reicht allenfalls die Wirkungssphäre vulkanischer Eruptionen. Blochmann konnte auch beim vertikalen Aufsteigen in der Atmosphäre keine andere Verteilung von CO_2 nachweisen, und mit seinen Resultaten stimmen diejenigen sehr gut überein, welche Marcet und Landrist im Schweizer Jura erzielten. Bei nebelfreier Luft ist die Kohlensäure gleichmässig durch alle Luftschichten verteilt, während allerdings das Vorhandensein von Nebel eine gewisse Änderung dieses Verhältnisses mit sich zu bringen scheint. Der Nebel nämlich, welcher ja, wie wir wissen, nichts anderes als eine kompakte Kondensationsform des atmosphärischen Wassers darstellt, enthält dieser seiner Zusammensetzung entsprechend weniger CO_2, als die ganz reine Luft.

*) Hann, S. 52.

Phaenologie nicht entschlagen, wobei uns ein ihren Entwickelungsgang mit grosser Treue zeichnendes Schriftchen *) von Ihne von grossem Vorteile sein wird.

Der Vater der Phaenologie ist der grosse Linné, welcher in seiner „Philosophia botanica" (Stockholm 1751) zuerst die Forderung aufstellte, es solle der Pflanzenforscher acht auf die meteorologischen Umstände haben, unter welchen das pflanzliche Leben bei gewissen charakteristischen Lebensstadien anlangt. Als diejenigen Phasen, auf die es dabei vornämlich ankäme, bezeichnete Linné die folgenden: germinatio, frondescentia, efflorescentia, fructescentia, defoliatio.**) Die von dem schwedischen Meister vorgezeichnete Bahn betraten 1755 Stillingfleet in England, 1762 Scopoli in Krain, 1786 Haenke in Prag, doch fehlte es den Beobachtungen fürs erste begreiflicherweise noch an Schärfe. Erst mit dem zweiten Viertel unseres laufenden Jahrhunderts nahm die Phaenologie einen wirklich wissenschaftlichen Charakter an. So sammelte der Physiker Moberg alles, was in dieser Beziehung bis dahin in Finland geleistet worden war***); in Belgien, wo auch der Lütticher Botaniker Morren zuerst des Wortes „Phaenologie" sich bediente, organisierte der unermüdliche Quetelet einen umfassenden Beobachtungsdienst, und dieser ward, unter Mitwirkung von Berzelius, bald auch auf das Vaterland der Disziplin, auf das Königreich Schweden, ausgedehnt. Quetelet verlangte von seinen Beobachtern, dass sie für eine bestimmte Pflanze zumal den Eintritt der ersten Blüte genau zeitlich markierten, und durch alle Punkte, welchen derselbe Termin entsprach, legte er die als Isantheren bezeichneten Kurven, welche allerdings in ihrem Verlaufe für die Pflanzengeographie manche Aufschlüsse ergeben mussten.†) In Russland, Deutschland, Österreich, Ungarn, Grossbritannien und Italien haben sich die phaenologischen Beobachtungen bereits ziemlich eingebürgert, auf der pyrenaeischen Halbinsel bereitet sich deren Einführung wenigstens vor, und Skandinavien, wo Männer wie Hildebrandsson, Arnell und der durch ein vorzügliches Werk über diesen Gegenstand in weiten Kreisen bekannte Hult††)

*) Ihne, Geschichte der pflanzenphaenologischen Beobachtungen in Europa, nebst Verzeichnis der Schriften, in welchen dieselben niedergelegt sind, Giessen 1884.

**) Das Ziel der Phaenologie, so wie sich dieselbe im ersten Umrisse seinem geistigen Auge darstellte, kennzeichnete Linné selbst mit diesen Worten: „Calendaria florae quotannis conficienda sunt in quavis provincia secundum frondescentiam . . ., observato simul climate, ut inde constet diversitas regionum inter se." Man sieht, dass dem, der so sprach, ein durchaus sachgemässer Zweck vor Augen schwebte, und die neueren Untersuchungen hatten blos genauer zu bestimmen, was Linné dem Wesen nach angedeutet hatte.

***) Moberg, Naturalhistoriska daganteckningar gjorda i Finland 1750—1845, Helsingfors 1856.

†) Quetelet, Instruction pour l'observation des phénomènes périodiques, Bull. de l'acad. royale Belgique, IX, 1. Manche der von Quetelet ausgewählten Entwicklungsetappen mussten später, als zu unbestimmt, ausgeschieden werden, so z. B. die allgemeine Laubverfärbung.

††) Hult, Recherches sur les phénomènes périodiques des plantes, Upsala 1871. Es wird in dieser Schrift wesentlich an den von dem berühmten Pflanzenphysiologen J. Sachs aufgestellten Lehrsatz angeknüpft: Für eine jede Lebensäusserung einer jeden Pflanze gibt es ein Minimum, ein Optimum und ein

wohnen, hat sich seine Führerstellung bis auf den heutigen Tag zu bewahren gewusst. Auch die kleine Schweiz verdient mit Ehren genannt zu werden; der Genfer Pflanzenphysiologe Senebier eröffnete schon im vorigen Jahrhundert den Reigen, Heer arbeitete 1846 die Queteletschen Arbeitspläne so um, wie sie sich für ein Gebirgsland eignen, und später sind Fankhauser und Schaffer mit grossem Eifer auf diesem Arbeitsfelde thätig gewesen. Nur Frankreich, in welchem Lande Duhamel sogar schon vor Linnés Auftreten eine freilich ohne alle Folgen gebliebene Anregung in diesem Sinne gegeben hatte, hat sich lange spröde verhalten, und erst vor wenigen Jahren hat Mascart daselbst die phaenologischen Beobachtungen systematisch angeordnet. So ist denn zu hoffen, dass wir mit der Zeit ausreichendes Material für die heutzutage natürlich noch nicht über gewisse Anfänge hinausgekommene theoretische Erforschung der Beziehungen zwischen Pflanzenphase und Klima erhalten werden. Insbesondere dürften hiezu phaenologische Karten beitragen, wie deren eine treffliche von J. Ziegler für die Wetterau ausgearbeitet worden ist. Ein grösseres Gebiet umfasst Staubs Karte von Ungarn.

Die Ausbildung der theoretischen Phaenologie ist wesentlich verknüpft mit deutschen Namen: Linsser, v. Oettingen, F. Hoffmann. Der erstgenannte trat 1840 mit einem Satze hervor, welcher die Lehre von den thermischen Konstanten begründete*); diese führte v. Oettingen an konkreten Beispielen weiter aus,**) und aus der Feder Hoffmanns floss eine ganz ungemein grosse Reihe von hierauf bezüglichen Veröffentlichungen, über welche man sich, soweit sie eben damals schon ans Licht getreten waren, aus der erwähnten Schrift von Ihne unterrichten kann, von denen wir hier aber nur eine einzige neuere***) deshalb anführen wollen, weil darin vom Autor ein grosser Teil der Arbeitsfrüchte eines Menschenalters niedergelegt ist. Man bestimmt, dies ist der durch alle diese Arbeiten sich hindurchziehende Grundgedanke, vom 1. Januar ab, als dem Tage tiefster Erstarrung der Natur, Tag für Tag das Insolationsmaximum, wie es durch ein den Sonnenstrahlen ausgesetztes Maximumthermometer (s. o.) angegeben wird, und addiert die so erhaltenen Zahlen bis zu jenem Tage hin, an welchem die gerade ins Auge gefasste Phase †) einer gewissen Pflanzen-Spezies auftritt: die durch solche Addition gewonnene Zahl soll für diese Pflanze annähernd konstant sein, und des-

Maximum der Temperatur. Für Schweden schwanken nach Hult die Mitteltemperaturen, die den einzelnen Phasen entsprechen, zwischen sehr engen Grenzen.

*) Linsser, Die periodischen Erscheinungen des Pflanzenlebens in ihrem Verhältnis zu den Wärmeerscheinungen, Mém. de l'acad. imp. de St. Pétersbourg, (2) Vol. XII.

**) v. Oettingen, Phaenologie der Dorpater Lignosen, Archiv f. d. Naturkunde Liv-, Esth- und Kurlands, (1) 8. Band.

***) Hoffmann, Phaenologische Untersuchungen, Giessen 1887.

†) Die vier von Hoffmann als fundamental zur Registrierung empfohlenen Stadien sind folgende: Anfang der Belaubung (erste Blattoberfläche sichtbar); Erste Blüte offen; Erste normale Früchte reif; allgemeine, wenigstens auf die Hälfte sämtlicher überhaupt vorhandener Blätter sich erstreckende Laubverfärbung.

halb kann man von einem Gesetz der Wärmesummen sprechen. Zunächst natürlich gilt dies nur für einunddenselben Ort, doch glaubt Hoffmann auch verschiedene, weit auseinander liegende Orte in diesem Sinne vergleichen zu können, indem sämtliche zu derselben Phase gehörige Vegetationskonstanten für verschiedene Stellen der Erde unter sich in einer gewissen Beziehung ständen. Bestätigt sich dies und hat man erfahrungsmässig die Konstanten möglichst vieler Pflanzen und Phasen ermittelt, so kann man freilich aus einer Sammlung solcher Daten wieder klimatologische Rückschlüsse machen, denn wenn dann in einem weiteren Jahre eine Phase zur Beobachtung gelangt, so weiss man, dass bei deren Eintreten der fragliche Ort ein gewisses Quantum Wärme direkt von der Sonne übermittelt erhalten hat.

Soweit jedoch, um derartige Schlüsse mit Sicherheit zu machen, sind wir allerdings noch nicht, vielmehr besteht unter den Forschern durchaus noch keine Einstimmigkeit hinsichtlich des Wertes der üblichen phaenologischen Methode. Grisebach z. B. erklärte sich entschieden gegen deren Zulässigkeit und gab eher noch dem von A. de Candolle vorgeschlagenen Verfahren den Vorzug, wonach statt der Insolationsmaxima die mittleren Tagestemperaturen als Summanden verwendet werden sollten. Auch Tomascheks Berechnungsmodus ist ein anderer; es wird da mit der Anzahl der Tage, an welchen sich (seit dem 1. Januar) die Temperatur über Null erhob, in alle von genannter Epoche an gebildeten Tagesmittel der Temperaturen über Null dividiert, um die Vegetationskonstante zu erhalten. Allein da Askenasy herausgebracht hat, dass die Winterruhe mancher Gewächse, fast unabhängig von der Temperatur, eine gewisse Zeit andauert, so ist in allen diesen Rechnungen, man mag ihre Elemente nun im einzelnen gruppieren, wie man will, stets ein Element der Willkürlichkeit enthalten, und diesem entgeht man noch viel weniger, wenn man mit v. Oettingen eine gewisse für jede Pflanze charakteristische Minimaltemperatur als sogenannte Schwelle*) ausfindig machen will. So ist denn wohl begreiflich, dass auch neuerdings von verschiedenen Fachmännern, wir nennen nur Drude und Krašan, das Problem der rechnenden Phaenologie überhaupt als ein noch nicht spruchreifes bezeichnet wird; zum mindesten müsse neben der Wärme und der auch bisher nicht hinreichend berücksichtigten Feuchtigkeit auch dem Einflusse des Lichtes ein grösserer Spielraum gegönnt werden. Wie schwer es ist, eine auch nur in groben Zügen sich ausprägende Gesetzmässigkeit aufzudecken, das beweisen uns die zwar schon früher bemerkten aber erst von Rahn eingehender studierten Inversionen: an einem bestimmten Orte erreicht Pflanze A für gewöhnlich eine gewisse Phase, z. B. das Blühen, regelmässig vor der Pflanze B, während in einem neuen Jahre, ohne dass für diese

*) Bei v. Oettingen gelten als Schwellen Temperaturgrade, welche der Individualität der gerade betrachteten Pflanze angepasst sein sollen und zwischen 0° und + 6° variieren. Dem gegenüber tritt Staub (Botanische Jahrbücher f. Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie, herausgeg. v. Engler, 3. Band S. 431 ff.) dafür ein, dass wiederum die natürlichste Schwelle, der Gefrierpunkt, in seine Rechte eingesetzt werde. In der That hört, wenn dies nicht geschieht, jede Vergleichbarkeit der Einzelresultate auf.

Anomalie irgendwo ein Anhaltspunkt gegeben wäre, plötzlich B vor A in jene Phase tritt. Für diese Abweichung von der Regel scheint die Phaenologie, der anerkennenswerten Bemühungen Rahns um Lichtung des Dunkels unerachtet, noch keine zureichende Erklärung liefern zu können.

Hoffmann allerdings misst seiner Spezialdisziplin bereits die Kraft bei, die Prognose der Meteorologie mit ihrem eigenen Rüstzeuge unterstützen zu können. Er glaubt sich überzeugt halten zu dürfen, dass auffallend früher Fruchtreife in den allermeisten Fällen ein sehr warmer Winter entspreche. Natürlich sind bestenfalls nur mässige Hoffnungen auf die rein statistisch zwischen den Vegetationskonstanten und dem thermalen Charakter der Jahreszeiten zu knüpfenden Beziehungen zu setzen. Die Ausbildung der Phaenologie wäre insonderheit auch im Interesse der Landwirtschaft zu wünschen; auch jetzt schon sucht die Agrarmeteorologie aus dem vorhandenen Materiale Nutzen für ihre Zwecke zu ziehen. So hat G. Karsten ein interessantes Schriftchen „Über die Beziehungen zwischen der Erntezeit und den klimatischen Verhältnissen" (Kiel 1884) geschrieben. Er findet, dass die gegenwärtige Wirtschaftseinteilung im wesentlichen dem Klima angepasst und von ihm diktiert ist. Versuche, die Ernte in Norddeutschland um acht bis vierzehn Tage früher, als jetzt üblich ist, herbeizuführen, sind dazu verurteilt, illusorisch zu bleiben, weil die zur Reife der Körnerfrüchte erforderliche Wärme erst von Mitte Juni bis Mitte August gegeben ist. Neue umfassende Untersuchungen über die Relationen zwischen Klima und Ernte sind von Wollny in aussicht gestellt; durch Berücksichtigung des Pflanzen-Optimums dürften dieselben zu den Arbeiten von Sachs und Hult manche Berührungspunkte aufweisen. Wollny hat die Einwirkungen der drei Hauptfaktoren Wärme, Feuchtigkeit, Licht sowohl für sich als auch in ihrem Zusammengreifen untersucht und gezeigt, wie je nach der Beschaffenheit des Landes eines der drei Agentien den Ausschlag für eine gute Ernte zu geben vermag. Das trefflich bewässerte Oberitalien muss besonders eine kräftige Wärmeentwicklung wünschen, während für das stark insolierte Sizilien die Hoffnung des Landmannes mit reichlichen Niederschlägen verknüpft ist. —

Wir wissen jetzt, welche Faktoren das Klima bestimmen, woran in erster Linie zu denken ist, wenn es auf die Klimabeschreibung einer bestimmten Erdstelle ankommt. Nunmehr soll es unsere Aufgabe sein, gewisse generelle Gesichtspunkte aufzustellen, nach welchen sich die Klimate unserer Erde gruppieren lassen. Wäre unsere Erde ein von absolut homogener Oberfläche umschlossener Körper, wobei das geometrische Bildungsgesetz jener Fläche ein beliebiges sein könnte, so könnten die klimatischen Unterschiede einzig und allein von der Verschiedenheit der Insolation abhängen. Diese sind nun in der That vorhanden, spielen eine höchst gewichtige Rolle und bestimmen das sogenannte solare Klima eines Ortes. Dasselbe wird, da unser Planet sehr nahe sphärisch gestaltet ist, als eine Funktion der geographischen Breite betrachtet werden dürfen. Die im Eingange dieses Hauptstückes erwähnten Klimate der griechischen und mittelalterlichen Geographen sind solare Klimate und können deshalb nur eine schematische Be-

deutung beanspruchen. Je mehr man aber einsehen lernte, dass der Bogenabstand eines Ortes vom Aequator noch lange nicht allein den klimatischen Charakter des ersteren bestimme, umsomehr bemühte man sich auch, die Verschiedenheit zwischen dem solaren und dem tellurisch-modifizierten oder physischen Klima begreifen zu lernen. Es ist uns kein Schriftsteller bekannt, welcher sich über diese Gegensätzlichkeit vor dem schwedischen Astronomen Peter Wargentin mit gleicher Klarheit und Einsicht ausgesprochen hätte.*) Jede der beiden Klima-Formen soll jetzt zum Gegenstande einer besonderen Erörterung gemacht werden.

I. Das solare Klima.

An eine mathematische Untersuchung über die Verteilung der Sonnenwärme an der Erdoberfläche trat zuerst der bekannte Engländer Halley heran; ihm folgten auf diesem Wege die Deutschen Tobias Mayer (der ältere) und Lambert. Weit umfassender und auch, weil mit kräftigeren analytischen Hilfsmitteln durchgeführt, weit erfolgreicher gestaltete sich die Lösung der einschlägigen Aufgaben bei dem Amerikaner Meech**), wiewohl derselbe, der Komplikation der Formeln gegenüber, noch vielfach mit angenäherter geometrischer Versinnlichung der Ergebnisse sich behelfen musste. Wir verzeichnen nur mit den Namen der Autoren die auf dasselbe Endziel gerichteten Bestrebungen von Atkinson, Haughton, Schlemüller, Roellinger, auf welche einzugehen der uns auferlegte Verzicht auf die analytische Kunstsprache von selbst verbietet, und verweilen nur etwas länger bei der besonders verdienstlichen Abhandlung von Wiener***), weil in derselben auch alles aufgeboten wird, um dem Verständnisse durch Kurvendarstellungen u. s. w. entgegenzukommen. Noch weiter als Wiener ist ganz vor kurzem allerdings Angot gegangen, indem er den einem bestimmten Erdorte zufallenden Wärmebetrag unter Berücksichtigung der atmosphärischen Absorption (s. u.) berechnete, allein jede abgekürzte Wiedergabe seiner Resultate ist anscheinend für eine gemeinfassliche Darstellung einfürallemal ausgeschlossen.

Dass die Frage, wie das solare Klima für einen gegebenen Parallelkreis der Erdkugel beschaffen sei, einen sehr verwickelten Charakter trage, begreift sich leicht, wenn man daran denkt, dass ja das Mass

*) Man findet die Aufsätze Wargentins über das Klima im 19. Bande der k. schwedischen Akademie der Wissenschaften; seine Bezeichnung ist teilweise ganz die noch jetzt (s. o.) gebräuchliche. Dies ersieht man aus einem besonders prägnanten Satze, der — in Kästners Verdeutschung — folgendermassen lautet: „Aber diese allgemeinen Ursachen des Unterschiedes der Wärme an verschiedenen Örtern werden in ihrer Wirkung oft durch zufällige Umstände geändert, welche machen, dass bei Ländern, die einerley geographisches Clima haben, das physische oft sehr unterschieden ist.“ Wargentin lehrt auch als einer der ersten die Bildung brauchbarer klimatologischer Mittelwerte, wenigstens für Temperatur.

**) Meech, On the relative Intensity of the Heat and Light of the Sun, Washington 1856.

***) Wiener, Über die Stärke der Bestrahlung der Erde durch die Sonne in ihren verschiedenen Breiten und Jahreszeiten, Zeitschr. f. Math. u. Phys., 22. Jahrgang. S. 341 ff.

der Insolation jeweils dem Neigungswinkel der Sonnenstrahlen proportional ist (s. o.), dass aber im Laufe eines jeden Tages dieser Winkel von Null bis zu einem gewissen Maximum zu- und wieder von diesem Maximum bis Null abnimmt, dass aber endlich dieses Maximum der Neigung selbst kein gleich bleibendes ist, sondern stetig mit dem Sonnenstande wechselt. Es gilt also, sehr verschiedenen räumlichen Verhältnissen Rechnung zu tragen, wenn man die Gesamtmenge der solaren Wärme bestimmen will, welche ein Erdort im Verlaufe einer bestimmten Zeit empfängt. Dazu kommt jedoch noch ein weiterer Punkt der Erschwerung. Jeder von der Sonne kommende Strahl durchläuft, ehe er an die Litho- oder Hydrosphäre gelangt, erst die Lufthülle der Erde, und auf diesem Wege wird ihm ein Teil der ursprünglichen Wärme durch Absorption entzogen. Wie gross dieser Teil ist, hängt erstlich von der Länge des Weges ab, welcher in die Atmosphäre entfällt, und diese Weglänge wiederum ist umso grösser, je weiter die Sonne vom Zenit des gerade betrachteten Punktes der Erdoberfläche entfernt ist. Zudem wirkt die Absorption durchaus nicht gleichmässig auf alle Strahlen, vielmehr ist diese Verschluckung, wie man sich neuerdings ausdrückt, eine selektive, und es ist deshalb an eine völlig genügende Lösung des Problemes, die Sonnenwärme an der Aussenfläche der Atmosphäre oder die sogenannte Solarkonstante zu ermitteln, nicht zu denken. Doch darf eine Übersicht über die hierauf bezüglichen Untersuchungen der Neuzeit nicht fehlen.

Einer der ersten, welche sich ernstlicher mit der Berechnung des Absorptions-Effektes beschäftigten, war der bekannte französische Physiker Pouillet. Er nahm an, dass die Intensität der Strahlen, wenn sie lotrecht durch eine Luftschicht von der Dicke 1 hindurchgegangen sind, gleich der ursprünglichen, multipliziert mit einem echten Bruche p ist, welcher bei ihm der Absorptionskoeffizient heisst und durch direkte Versuche zu bestimmen ist.*) Hat die vom Strahle zu durchwandernde Schicht die Dicke 2, so ist der mit der ursprünglichen Stärke zu multiplizierende Faktor p p oder p^2, und wenn endlich allgemein n die Masszahl für die Dicke der durchlaufenen Schicht wäre, so ginge jener Faktor in p^n über. Indem Pouillet ferner die vom Stande der Sonne abhängigen Weglängen in Rechnung zog, fand er, dass die Solarkonstante 1,76 Kalorien gleich zu setzen sei**), und der von ihm

*) Pouillet schuf dieses Verfahren nicht neu, sondern wandte nur auf Luft die Formeln an, welche in einem berühmten Werke Lamberts (Photometria sive de mensura et gradibus lucis, colorum et umbrae, Augsburg 1760) ganz allgemein für den Durchgang der Strahlen durch durchsichtige Platten aufgestellt worden waren.

**) Diese Zahl bedeutet folgendes: Es trifft in der Minute auf einen Quadratzentimeter der Grenzfläche unserer Atmosphäre genug Wärme, um die Temperatur der Gewichtseinheit destillierten Wassers von 0^0 auf $1{,}76^0$ zu erhöhen. Will man erfahren, wieviel Wärme die ganze Erde im Laufe eines Jahres direkt von der Sonne zugesandt erhält, so hat man obige Zahl mit der Oberfläche eines Hauptkreises der Erdkugel und mit der Anzahl der auf ein Jahr von 365,2 Tagen treffenden Zeitminuten zu multiplizieren. Man bekommt so, wenn r den Erdhalbmesser vorstellt, $1{,}76 \times 60 \times 24 \times 365{,}2 \times r^2 \times \pi$ Kalorien; diese Wärmemenge würde zur Schmelzung einer die Erde umhüllenden Eisschicht von etwa 30 m Dicke hinreichen. π ist annähernd: $3{,}14 = {}^{22}/_{7}$.

für p erhaltene Wert besagte, dass etwa 25 % der ganzen Strahlungswärme der Sonne innerhalb der Lufthülle zurückgehalten würden. Nun ist aber die Grösse p keineswegs eine konstante, für alle Strahlengattungen gleich bleibende. Wir wissen ja, dass unter den von der Sonne ausgehenden Strahlen sich sowohl dunkle (langwellige) als auch helle (kurzwellige) befinden, während die von der Erde wieder ausgesandten Strahlen ausnahmslos der ersten Klasse angehören. Weitaus zuverlässiger als die Pouilletsche Bestimmung der Solarkonstante war diejenige, welche Violle vollzog, und zu welcher ihm hauptsächlich eine grössere Beobachtungsreihe auf dem Faulhorn verhalf, allein prinzipiell war von Violle doch noch der von Pouillet eingenommene Standpunkt festgehalten worden, und so war auch seine Zahl 2,5 doch immer nur ein unvollkommener Näherungswert. Nach Crova würde unter mittleren Breiten, selbst bei ganz reinem Himmel, die Hälfte der täglichen Wärmestrahlung der Sonne von der Atmosphaere absorbiert werden; die Solarkonstante schwankt ihm zufolge zwischen 1,90 und 2,32.

In eine neue Phase trat diese Frage durch die Erfindung des Bolometers, welcher an die Stelle des von Pouillet verwendeten Pyrheliometers (s. o.) trat. Dünne eiserne Drähte wurden in ihrer Längsrichtung den einfallenden Strahlen entgegengestellt, und die den ersteren auf solche Weise zu teil gewordene Erwärmung wurde durch die von jener abhängigen Änderung des elektrischen Widerstandes gemessen. Mit solchen Drähten sucht man die ganze Länge des Spektrums ab, wobei sich, nebenbei bemerkt, herausstellt, dass die Ausdehnung des Sonnenspektrums eine weit beträchtlichere ist, als es selbst aus den Cauchyschen Formeln hervorgehen würde. Messungen solcher Art wurden in grösserem Masse zuerst von Frölich und von Langley ausgeführt. Ersterer benützte eine aus Stäbchen von Wismut und Zinkantimon zusammengesetzte Thermosäule, setzte diese in ein parallatisch montiertes Metallrohr und schloss mit einer Steinsalzplatte dessen der Sonne zugekehrte Öffnung (s. o.). Er fand u. a., dass die Sonnenwärme mit sich steigender Fleckenentwicklung abnehme, doch wird von H. C. Vogel dagegen eingewendet, dass man es da nur mit einer zufälligen, der Verallgemeinerung nicht fähigen Wahrnehmung zu thun habe. Von Abney und Festing wurden die gleich nachher zu erörternden Resultate Langleys bestätigt, nur glauben dieselben behaupten zu können, dass die Absorption sich der Hauptsache nach im Rot und Ultrarot vollziehe und dem in der Atmosphäre enthaltenen Wasser zuzuschreiben sei, während nach Langley das Intensitätsmaximum der ausseratmosphärischen Solarkurve im Blau gelegen wäre. Für die durchschnittliche Sonnentemperatur fanden jene englischen Forscher den Wert von 10 000 bis 12 000 Grad.

Bei seinen unter den gewöhnlichen Verhältnissen angestellten Beobachtungen vergewisserte sich Langley darüber, dass der Absolutbetrag der Sonnenenergie jedenfalls grösser sei, als gemeiniglich angenommen wird, und zwar schätzte er denselben zunächst auf 2,84 Wärmeeinheiten. Doch war er mit dieser Zahl auch noch nicht zufrieden, denn er sagte sich, dass man eigentlich unter besonders günstigen Durchlässigkeitsbedingungen und zwar, wenn möglich, von zwei verschieden

hoch gelegenen Punkten aus die Bestimmungen vorzunehmen habe. Aus diesem Grunde wurde 1881 die damals viel besprochene Expedition auf den Mount Whitney in Kalifornien unternommen, über welche Langley in einer für die Physik der Erde nach den verschiedensten Seiten hin überaus belehrenden Schrift Bericht erstattete*). Es zeigte sich, dass man, strenge genommen, sowohl für jede Luftschicht einen besonderen Transmissionskoeffizienten als auch für jeden einzelnen Strahl eine besondere Absorptionskonstante anzunehmen habe. Durch verschiedene Zusammenfassungen der einzelnen aktinometrischen und bolometrischen Messungen fanden sich für die Solarkonstante (in Kalorien) resp. die Werte 2,067; 2,053; 2,260; 2,217; 2,183; 4,084; 3,505; 2,630, und als verhältnismässig wahrscheinlichster Wert, nach Anbringung aller Korrekturen, 3 in runder Zahl. Auch den Beziehungen zwischen Luftfeuchtigkeit und selektiver Absorption suchte Langley auf die Spur zu kommen. Stellen wir die wichtigsten Resultate seiner Untersuchung zusammen, immer daran denkend, dass nach Abney und Festing dieselben in einem wichtigen Punkte noch nicht als abschliessend erachtet werden dürfen, so können wir folgende Thesen aufstellen:

I. Die langwelligen Strahlen durchdringen die Atmosphäre leichter, als die kurzwelligen;

II. Gerade von den blauen und violetten Strahlen gehen sehr viele beim Durchpassieren durch unseren Luftkreis verloren, an dessen Aussenseite die Sonne blau erscheinen müsste;

III. Für jeden Einzelstrahl von bestimmter Wellenlänge ist die Verschluckung in den unteren Schichten eine besonders grosse;

IV. Wenn man die Sonnenkonstante drei Kalorien gleichsetzt, so ist diese Zahl viel eher zu klein denn zu gross.

Wir bemerken noch, dass an die energische Forschungsarbeit Langleys sein Landsmann Ferrel eine gründliche analytische Prüfung der Beziehung zwischen der selektiven Absorption und der thatsächlichen Temperaturverteilung an der Erdoberfläche angeknüpft hat.**)

Auch auf die Grösse der nächtlichen Wärmestrahlung unserer Erde, welche schon früher Six, Melloni, Glaisher und speziell durch Gipfelbeobachtungen Martins (auf dem Montblanc) und

*) Langley, Researches on Solar Heat and its absorption by the Earth's Surface; A Raport of the Mount Whitney Expedition 1884. Der betreffende Berg streckt sein Haupt 15000 englische Fuss in die Wolken empor, und obwohl die Hauptstation äusserer Ursachen halber nicht auf der eigentlichen Spitze, sondern 2000 Fuss unter derselben angelegt wurde, so war doch auch hier die Luft schon von genügender Dünnheit, um den daselbst angestellten Beobachtungen einen hervorragenden Wert zu sichern. Die Oberleitung der Expedition hatte der „Signal Chief Officer", der uns schon von der Thermometrie her bekannte General Hazen in Händen, und der Bericht erschien als Bestandteil der „Professional Papers of the Signal Office."

**) Ferrel, Temperature of the Atmosphere and Earth's Surface, Washington 1884. Die von Ferrel entwickelte Formel, welche aus den am Sonnen- und am Schattenthermometer gemachten Ablesungen die absolute Wärmemenge zu berechnen erlaubt, die der zur Strahlenrichtung senkrechten Fläche 1 zukommt, zeichnet sich durch ihre relative Einfachheit aus.

Boussingault (in den Anden) zu bestimmen gesucht hatten, erstrecken sich die Messungen Langleys auf der Sierra Nevada, allein alle diese Bestimmungen sind nur relativ: man gab einfach an, um wie viele Grade die Temperatur, gemessen durch ein in heiterer Nacht frei aufgehängtes Thermometer, sich von der Temperatur der Umgebung unterschied. Absolute Bestimmungen können nur in Kalorien erfolgen, und zwar am besten mittelst eines älteren Apparates von Christiansen, welchen Maurer (Zürich) für die Aufgabe aptiert hat, die Wärmemenge zu messen, welche in der Zeiteinheit von der Flächeneinheit einer horizontalen berussten Fläche gegen den absolut wolkenlosen Himmel abgegeben wird. Als kalorimetrischer Körper dient hier eine flache Zylinderplatte von Kupfer, deren eine Fläche durch Lampenruss möglichst strahlungsfähig gemacht ist; diese Platte wird horizontal im Inneren eines vertikalen doppelwandigen Zylinders angebracht, dessen Temperatur durch einen durchlaufenden Wasserstrom auf gleicher Höhe erhalten wird. Durch ein radial gebohrtes Loch mündet ein Thermometer, während ein zweites die Temperatur der Wasserfüllung notiert. Der Deckel des vertikal gestellten Zylinders hat in der Mitte ein zur Achse konzentrisches Diaphragma; öffnet man den Deckel, so kann man die vertikale Strahlung gegen das Zenit messen, woraus sich die Gesamtstrahlung der Flächeneinheit herleiten lässt. Die Rechnung ergab Maurer, dass die gesuchte Grösse des nächtlichen Ausstrahlens sich auf 0,13 Kalorien beläuft, und dies ist ungefähr der zehnte Teil des Strahlungsbetrages, welche 1 qcm in 1m bei normaler Insolation und hohem Stande der Sonne von letzterer empfängt.

Da wir, wie schon erwähnt, von einer eingehenden Diskussion der wirklichen Erwärmungsverhältnisse abstand nehmen müssen, so begnügen wir uns damit, die Verteilung der täglichen Sonnenstrahlung durch ein der Wienerschen Arbeit entlehntes Diagramm (Fig. 51) für vier ausgezeichnete Tage des Jahres darzustellen. Oben sind die Breitengrade, rechts seitwärts die Verhältniszahlen der Insolationsstärke beigeschrieben, diese entsprechen lediglich der Theorie, so dass zur Zeit des Aequinoktiums, wenn die Sonne im Aequator steht, der Pol der Sonnenwärme gänzlich entbehrt (s. den Anfang dieses Hauptstückes). Der Verlauf der Kurve ist im übrigen leicht zu übersehen; man überzeugt sich z. B. leicht, dass um die Zeit der sommerlichen Sonnenwende, wenn also ein volles Vierteljahr die Sonne über dem Horizont sich befindet, die Bestrahlung des Poles stärker als die stärkste ist, welche jemals dem Aequator zu teil wird.

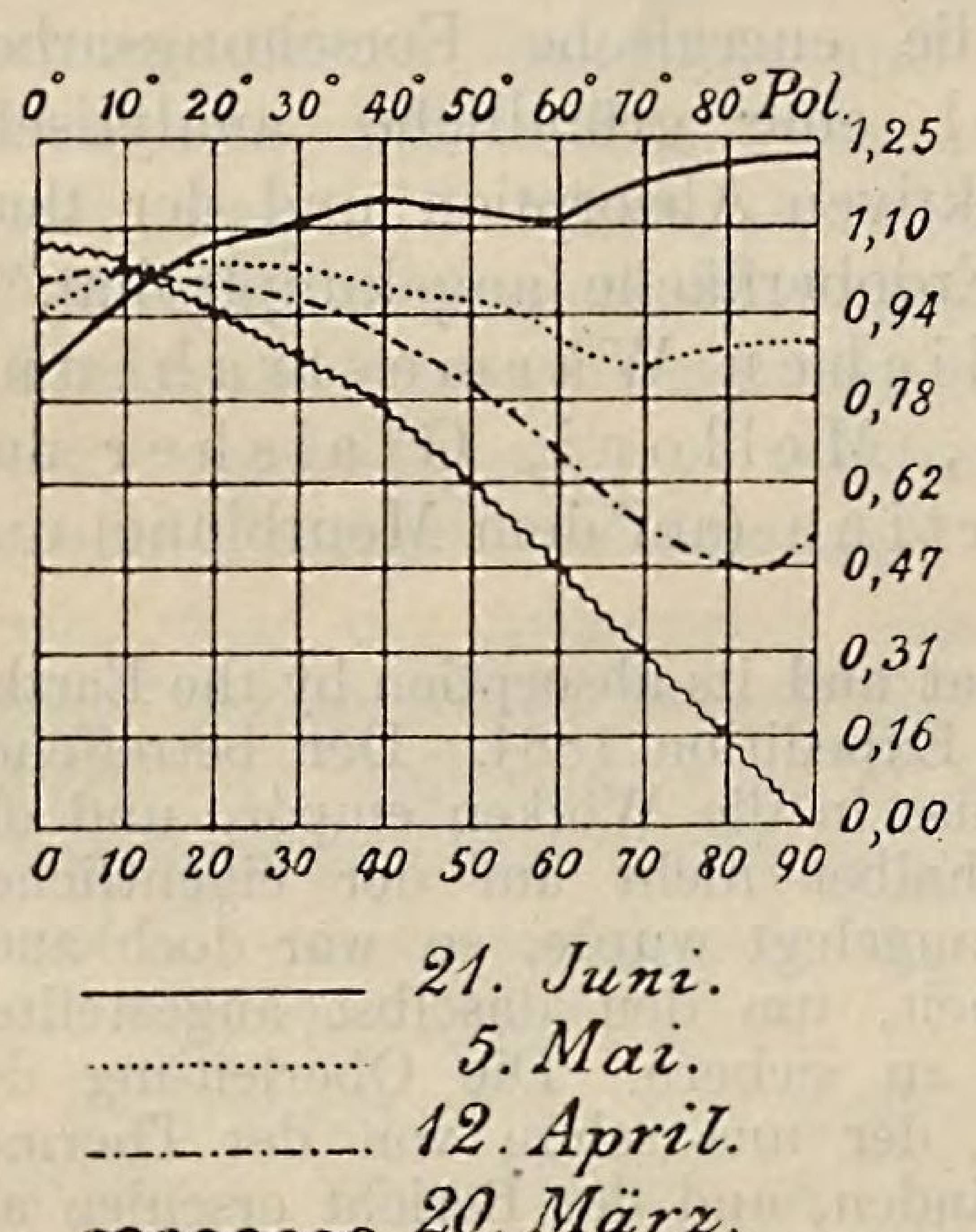


Fig. 51.

Die beiden Halbkugeln unserer Erde verhalten sich hinsichtlich der ihnen im Laufe eines Jahres zufallenden Menge von Sonnenstrahlen nicht ganz gleichmässig*); im Sommer erscheint die südliche vor der nördlichen, im Winter die nördliche vor der südlichen Hemisphäre etwas bevorzugt. Dies wird bewirkt durch die elliptische Gestalt der Erdbahn in Verbindung mit dem Umstande, dass die Erdachse während eines Umlaufes um den Zentralkörper nahezu unverrückt dieselbe Stellung im Raume beibehält. Im solaren Klima ist deshalb auch der Gegensatz zwischen der im Sommer und im Winter bestehenden Bestrahlung für die Südhälfte der Erde ein fühlbarerer, als für die Nordhälfte, oder, wie man, mit Hann,**) auch sagen kann: Das solare Klima der Südhalbkugel ist das exzessivere.

Nachdem wir in grossen Zügen die Wärmeverteilung auf der Erde skizziert haben, rechtfertigt sich wohl noch ein kurzer Rückblick.. Das Mass von Sonnenwärme, welche ein seiner Polhöhe nach bekannter Erdort zu bestimmter Zeit direkt empfängt, hängt ab: I. Von der Grösse der Sonnenkonstante, welche uns die kalorische Energie der völlig ungeschwächten Sonnenstrahlen versinnlicht, II. Von der geographischen Breite, III. Von der augenblicklichen Höhe der Sonne über dem Gesichtskreise des fraglichen Ortes, IV. Von der durch letzteren Grösse mit bedingten Länge des in der Atmosphäre zur Kurve gebrochenen Strahles, V. Von der selektiven Absorptionskraft der Lufthülle. Als ein sechstes Moment kann die der Absorption bis zu einem gewissen Grade entgegenarbeitende spontane Rückstrahlung der Atmosphaere angesehen werden. Die Atmosphaere ist, worauf schon früher mit Nachdruck hingewiesen wurde, so gut wie niemals ganz rein, es sind stets Fremdkörperchen aller Art in ihr suspendiert, und jede derartige Partikel bildet einen Ausgangspunkt für diffus reflektierte Licht- und Wärmestrahlen. Freilich wissen wir nicht, ob das Mass dieser diffusen Strahlung für Wärme eben dasselbe ist, wie für Licht; wäre dem aber so, dann würde sich eine ziemlich namhafte Vermehrung der an und für sich aus der Theorie des solaren Klimas für einen Ort ergebenden Wärme annehmen lassen. Zunächst muss man sich, beim Mangel der kalorimetrischen, mit rein photometrischen Bestimmungen begnügen, und zwar beträgt nach Clausius das diffuse Licht annähernd den vierten Teil der direkten Intensität, mit welcher ein solares Strahlenbündel unter rechtem Winkel auf eine ebene Fläche einwirkt. Noch kräftiger macht sich innerhalb ihres Bereiches die chemische Wirkung des Lichtes geltend, mit welcher uns insbesondere die Arbeiten von Bunsen und Roscoe näher bekannt gemacht haben. Es scheint, wie eine Vergleichung der in Kew (bei London) und in Pará (an der Mündung des Amazonenstromes) vorgenommenen synchronen Messungen lehrt, dass die Intensität der chemischen Strahlung mit der geographischen Breite ziemlich rasch abnimmt. Die photochemischen Klimagürtel der Erde sind, den genannten Forschern zufolge, jedenfalls durch einfachere Begrenzungslinien ausgezeichnet, als die gleich

*) Auch auf dieses Moment ist, wenn wir uns nicht täuschen, mit der nötigen Nachdrücklichkeit zuerst von Wargentin hingewiesen worden.

**) Hann, S. 65.

nachher an die Reihe kommenden Zonen des wirklichen Klimas; erstere fallen eben im wesentlichen mit den Klimaten der Alten zusammen. Auf die exakte Bestimmung des diffusen Lichtes wird uns späterhin der von den atmosphaerischen Lichterscheinungen handelnde Anhang zurückführen. — Es ist jetzt an der Zeit, zuzusehen, welchen Modifikationen das solare Klima infolge der Ungleichartigkeit der Erdoberfläche ausgesetzt ist.

II. Das physische Klima.

Von vornherein, und ohne besondere Betrachtung von Einzelheiten, können wir erkennen, dass für die Eigenart des thatsächlichen Klimas eines bestimmten Bezirkes zwei Dinge entscheidend sein werden: Die Abwechslung von Land und Wasser einerseits, die Unebenheiten des Festlandes andererseits. Damit ist zugleich, je nachdem wir auf den ersten oder den zweiten dieser Punkte unser Hauptaugenmerk richten, ein doppelter fundamentaler Gegensatz ausgesprochen: hier der Unterschied zwischen Land- und Seeklima, dort der Unterschied zwischen Höhen- und Tiefenklima. Mit dieser Gegenüberstellung ist gleichzeitig die Notwendigkeit der Zerfällung dieses dem physischen Klima gewidmeten Abschnittes in zwei Unterabteilungen gegeben.

A. Land- und Seeklima.

Selbst dem naturwissenschaftlich wenig geschulten Blicke der alten Römer drängte sich von selbst, nachdem erst ihr Herrschaftsbereich die nötige geographische Ausdehnung erhalten hatte, die Wahrnehmung auf, dass an den Küsten ozeanischer Inseln der Typus von Klima und Wetter ein anderer sei als in Binnenländern*); in bescheidenerem Masse hatten auch die Griechen dies bemerken müssen, wenn sie zwischen ihren von mildem Himmel begünstigten Küstenlandschaften und den rauhen Gebirgsländern Aetolien und Akarnanien Vergleiche anstellten. Als im vorigen Jahrhundert die Erschliessung Asiens von neuem begann, boten sich auch neue Anhaltspunkte dar zur Beurteilung der vom Meere weit abgerückten Klimate. Eine scharfe Charakteristik der Eigentümlichkeiten des Landklimas — Binnen- oder Kontinentalklimas — gegenüber dem wohl auch als Insel- oder Küstenklima bezeichneten Seeklima ist aber erst seit A. v. Humboldt in den eisernen Bestand unserer Lehrbücher übergegangen.

Wir haben uns schon bei der Betrachtung der sogenannten Land- und Seewinde mit der verschiedenen Wärmekapazität von Wasser und Land zu beschäftigen gehabt. Unter den Konsequenzen dieser Verschiedenheit ist die Thatsache hervorzuheben, dass im allge-

*) Unter Caesar und den ersten Kaisern fasste bekanntlich Rom auf den britischen Inseln festen Fuss, deren Seeklima damals, unter der Mitwirkung unermesslicher Waldungen, gewiss den denkbarst ausgesprochenen Charakter hervorkehrte. So finden wir denn auch schon bei Cicero und bei Tacitus ganz zutreffende Äusserungen über die klimatische Sonderart Britanniens; in präziser Form aber findet sich das Wesen des Küstenklimas zuerst dargelegt bei dem ersten christlichen Apologeten römischer Abstammung, bei Minucius Felix.

meinen die Bewölkung bei der Entfernung von der Meeresküste geringer wird; sowohl die Einstrahlung wie auch die Ausstrahlung der Wärme werden somit durch das Vorwiegen des Trockenen erleichtert. Der Temperaturgegensatz zwischen warmer und kalter Jahreszeit wird über dem Kontinente grösser, über dem Weltmeere geringer, als er dies nach dem solaren Klima sein würde. Je kontinentaler ein Klima, umso grösser wird die jährliche Wärmeschwankung, und zwar gilt dies ausnahmslos für alle Breiten. Umgekehrt sinkt über dem Meere, wie wir dies namentlich aus den Temperaturregistern kleiner ozeanischer Eilande herauslesen können, die jährliche Wärmeamplitude auf ein äusserst geringes Mass herab; auf Kerguelen-Insel beträgt die Jahresschwankung nur noch 5⁰*), so dass also von einem fühlbarem Wechsel zwischen Sommer und Winter kaum mehr die Rede sein kann. Wenn man den Einfluss des festen und flüssigen Elementes nicht blos qualitativ, sondern graduell abschätzen will, so muss man zunächst die mittlere Temperatur des betreffenden Parallelkreises kennen, so wie dieselbe von Dove definiert worden ist. Man wählt eine Anzahl gleichabständiger Punkte auf dem Parallel — je mehr, je besser; bei Dove waren es ihrer 36 —, sucht für jeden derselben den Mittelwert der Jahrestemperatur aus einer einen möglichst langen Zeitraum umfassenden Beobachtungsreihe und bildet wiederum das arithmetische Mittel aus allen diesen einzelnen Mittelwerten. Die so erhaltene Zahl ist auf der einen Seite abhängig von der geographischen Breite, auf der anderen von dem Verhältnisse, in welchem sich Land und Wasser in den bezüglichen Breitenkreis teilen. Der schottische Physiker Forbes fand eine natürlich nur empirischen Wert beanspruchende Formel auf, in welcher ausser gewissen, nach der Methode der kleinsten Quadrate auszuwertenden Konstanten, nur die Mitteltemperatur die Breite und die erwähnte Verhältniszahl

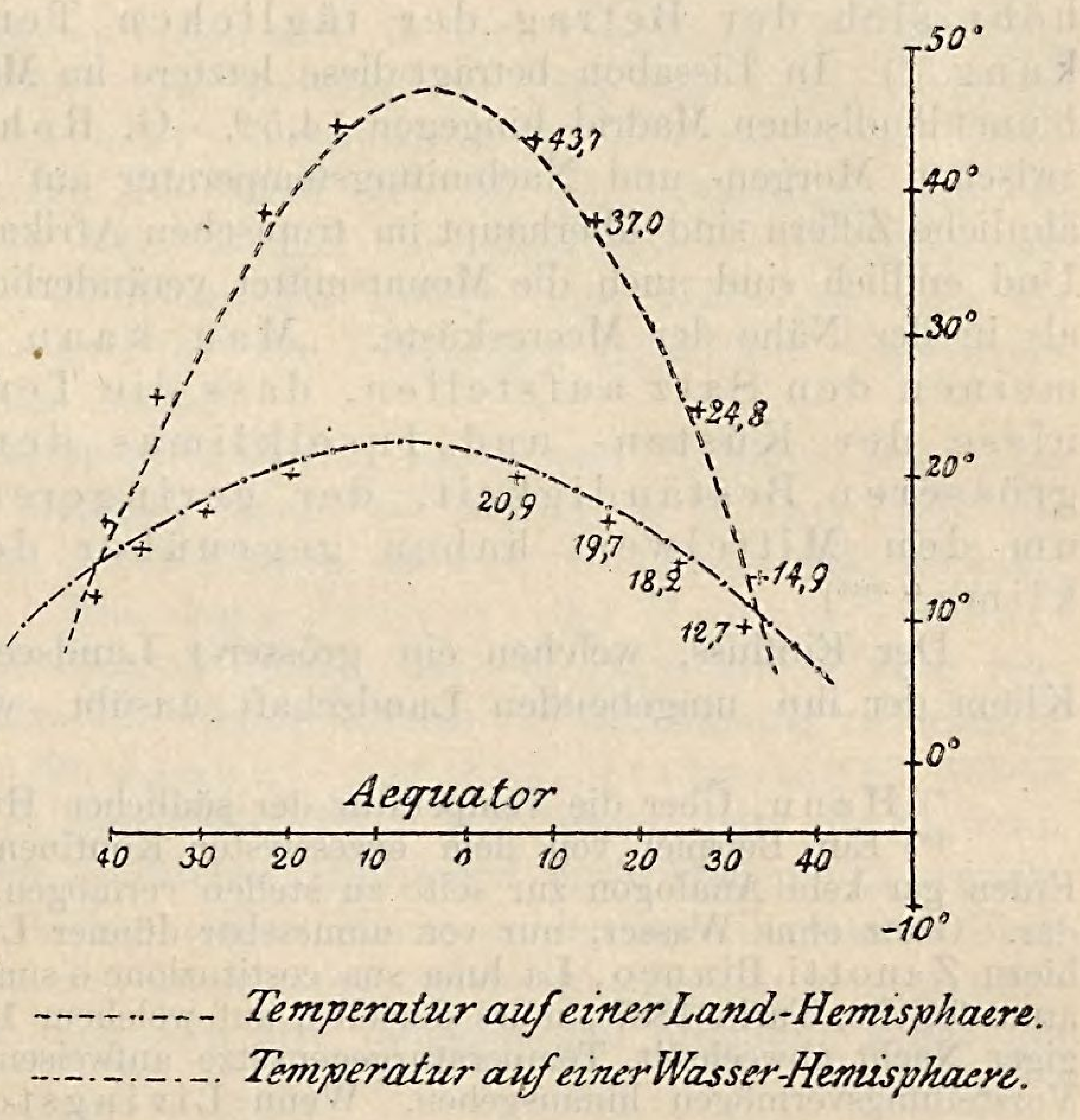


Fig. 52.

vorkommen. Aus dieser Formel folgt neben anderem ein interessantes Tableau für den Temperaturgang auf einer reinen Land- und einer reinen Wasserhalbkugel; vgl. Fig. 52. Die Südhälfte unserer Erde ist nun

*) Hann, S. 85.

freilich nicht blos mit Wasser erfüllt, allein dieses Element überwiegt doch auf ihr sehr erheblich das Festland, und so darf wohl daran gedacht werden, dass die dortigen Mitteltemperaturen eine gewisse Annäherung an die Zahlen der Forbesschen Formel erkennen lassen werden. Hann hat die Vergleichung in einer der k. k. Akademie der Wissenschaften eingereichten, jedoch auch separat erschienenen Monographie durchgeführt*). Er findet, in Übereinstimmung mit Forbes, dass die alte und immer wiederkehrende Behauptung, es sei unter gleichen solaren Bedingungen die südliche Hemisphäre kälter als die nördliche, nur zwischen dem Aequator und dem 40. Parallel auf Wahrheit beruht, dass dagegen es zwischen 40° und 45° Süderbreite im Mittel wärmer ist als zwischen 40° und 45° Norderbreite, und auch weiter polwärts bleibt das Verhältnis das gleiche, wie für das letzterwähnte Intervall. Spitaler, der der Forbesschen Formel eine verbesserte Gestalt gegeben und überhaupt sehr umfassende Untersuchungen über die Wärmeverteilung angestellt hat, kommt zu dem Schlusse, dass man im grossen und ganzen die Mitteltemperaturen beider Hemisphären als gleich — ungefähr gleich 15° — anzunehmen berechtigt sei.

Es bedarf wohl kaum der Konstatierung, dass, was für die Jahresamplitude der Temperatur richtig ist, innerhalb entsprechender Grenzen auch für die Tagesamplitude gilt: in dem Masse, als sich das insulare Klima von dem kontinentalen zurückzieht, erhöht sich der Betrag der täglichen Temperaturschwankung.**) In Lissabon beträgt diese letztere im Maximum 6,6°, in dem binnenländischen Madrid hingegen 14,5°. G. Rohlfs sah die Differenz zwischen Morgen- und Nachmittagstemperatur auf 37,7° ansteigen, und ähnliche Ziffern sind überhaupt im tropischen Afrika nichts allzu seltenes. Und endlich sind auch die Monatsmittel veränderlicher im Binnenlande, als in der Nähe der Meeresküste. „Man kann daher im allgemeinen den Satz aufstellen, dass die Temperaturverhältnisse der Küsten- und Inselklimas den Charakter der grösseren Beständigkeit, der geringeren Schwankungen um den Mittelwert haben gegenüber dem Kontinentalklima.“ ***)

Der Einfluss, welchen ein grösserer Landsee auf das physische Klima der ihn umgebenden Landschaft ausübt, wird ein Miniaturbild

*) Hann, Über die Temperatur der südlichen Hemisphaere, Wien 1882.

**) Ein Beispiel von dem exzessivsten Kontinentalklima, dem wir auf Erden gar kein Analogon zur seite zu stellen vermögen, bietet uns der Mond dar. Ganz ohne Wasser, nur von unmessbar dünner Lufthülle umgeben (vgl. hiezu Zanotti Bianco, La luna sua costituzione e sua influenza nelle vicende atmosferiche, Turin 1887), muss derselbe, auf welchem 14tägiger Tag mit 14tägiger Nacht abwechselt, Temperaturgegensätze aufweisen, die weit über unser Vorstellungsvermögen hinausgehen. Wenn Livingstone und Wetzstein in Afrika das bei Tage übermässig erhitzte Gestein nach Sonnenuntergang unter lautem Knallen in Stücke springen sahen, so können wir wohl H. J. Kleins Angabe von physischen Veränderungen der Mondoberfläche für gerechtfertigt halten, ohne zu den zwar oft vermuteten aber niemals bestätigten rezenten Ausbrüchen der seit lange in definitiven Ruhestand getretenen Mondkrater unsere Zuflucht nehmen zu müssen.

***) Hann, Klimatologie, S. 96.

des von den Ozeanen ausgehenden Einflusses sein. Leider fehlt es noch sehr an messenden Bestimmungen, welche die Grundlage für eine vergleichende Klimatologie der kontinentalen Seegebiete liefern könnten. Winchell hat für die grossen canadischen Seen eine solche Untersuchung durchgeführt und dabei dargethan, dass dieselben sehr kalmierend auf das sonst gerne in jähen Temperatursprüngen sich ergehende nordamerikanische Klima einwirken; die sonst im Unionsgebiete zur Regel gehörenden Früh- und Spätfröste kommen am östlichen Gestade des Michigan-Sees gänzlich in Wegfall. Woeikow, der auch die Flüsse nicht ganz vernachlässigt wissen will, hat sich eingehend mit denjenigen grossen Seen der Subpolarregion beschäftigt, welche einen grossen Teil des Jahres hindurch mit Eis bedeckt sind.*) Grosse stehende Wasseransammlungen dieser Art, wie der Ladoga- und Onega-See bewirken im Herbst und Anfang des Winters, wenn mit der Eisbildung ein Freiwerden von Wärme eingeleitet wird, ein merkbares Steigen der Lufttemperatur in ihrer Umgebung, wogegen im Sommer die Luft kühler bleibt, als sie ohne das Vorhandensein der Seen sein würde; es wird eben Wärme bei der Überführung des Wassers aus dem festen in den tropfbaren Aggregatzustand latent. Wieder eine besondere Stellung nehmen die mit salzigem Wasser angefüllten Inlandseen ein. Sie können, zumal wenn sie, wie der kaspische- und Aral-See einen geringeren Salzgehalt haben, als das eingentliche Meer, trotz ihrer geringeren Grösse auch eine Mässigung der klimatischen Gegensätze in ihrer Umgebung herbeiführen; dies gilt für die südliche und südwestliche Seite des kaspischen Sees nach Woeikow**) mit aller Entschiedenheit. Je grösser der Salzgehalt ist, desto weniger Eis bildet sich an der Oberfläche, und es bleibt dann auch mehr oder weniger die abstumpfende Wirkung auf den Übergang von einer Jahreszeit zur anderen aus, welche wir oben als charakteristische Eigenschaft der zur Übereisung neigenden Süsswasserbecken kennen zu lernen hatten.

Der thermale Gegensatz zwischen Land- und Seeklima wird vom Auge besonders klar erkannt, wenn wir mit A. v. Humboldt die Orte gleicher Temperatur durch Kurven, die Isothermen, mit einander in Verbindung setzen. Man kann Jahres- und Monatsisothermen konstruieren; für unseren Zweck, die von Land und Wasser herrührenden Modifikationen des solaren Klimas zur Anschauung zu bringen, eignen sich am besten die Januar- und Juliisothermen, welche wir in Fig. 53a und b überblicken.***) Wir sehen, dass dann, wenn die Winterkälte auf der nördlichen Halbkugel ihren Höhepunkt erreicht hat, die Isothermen, aus dem stillen Meere in den amerikanischen Festlandkörper übertretend, eine äusserst energische Ausbiegung in aequatorialer Richtung erfahren und sich erst langsam und allmählig gegen die

*) Woeikow, 1. Band S. 121 ff.

**) Woeikow, 1. Band, S. 129.

***) Wir entnehmen diese Kartenbilder der neuen, von Hermann Berghaus geleiteten Ausgabe von „Berghaus' Physik. Atlas", welcher dereinst auf Humboldts Betrieb ins Leben getreten war. Den meteorologischen Teil der Redaktionsarbeit hat Hann auf sich genommen und in gewohnter Meisterschaft erledigt. Die gestrichelten Linienteile sind interpoliert, wo direkte und verlässliche Messungen nicht vorlagen.

Ostküste zu senken; die See hat infolge ihrer grösseren Wärmekapazität sich weniger abgekühlt als das Festland. Eine leichte passagère Hebung der Kurven in der Nähe der grossen Seen fällt sofort auf. Kaum sind die Isothermen an der Küste des Atlantik angelangt, krümmen sie sich

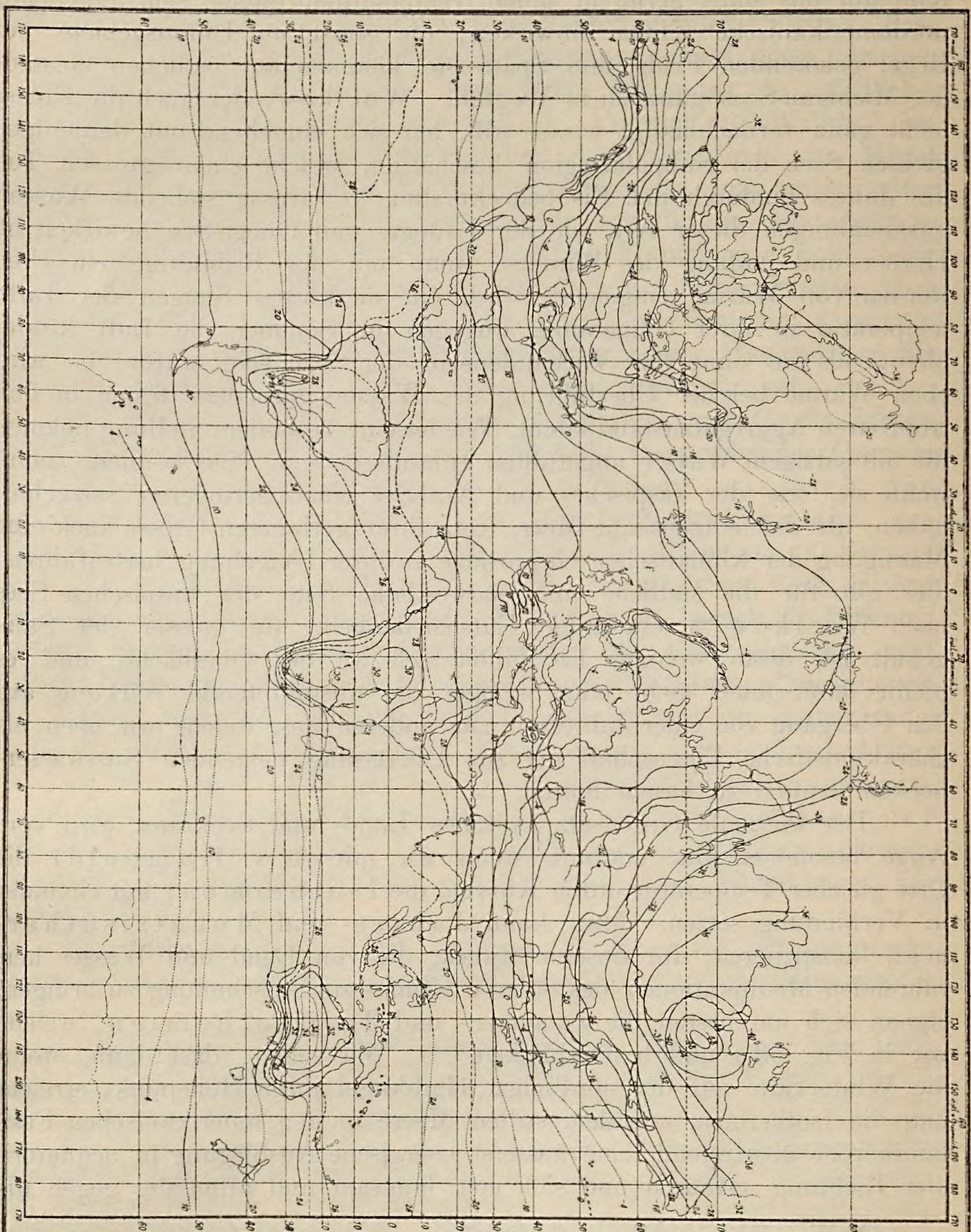


Fig. 53 a.

gleich wieder polwärts, an den Küsten von New-Foundland und Labrador sogar mit solcher Energie, dass sie, die vom solaren Klima ihren Verlauf genau von West nach Ost angewiesen erhielten, streckenweise meridional ansteigen. Ebenso entschieden krümmen sich unsere Kurven wieder süd-

wärts, sobald sie den Landkomplex Eurasiens erreicht haben, und im Inneren dieses grössten Kontinentes steigen sie so zu niederen Breiten herab, dass die Südspitze Koreas, welche um etwa 35⁰ dem Aequator näher gelegen ist, als die norwegischen Loffodden, mit dieser Inselgruppe

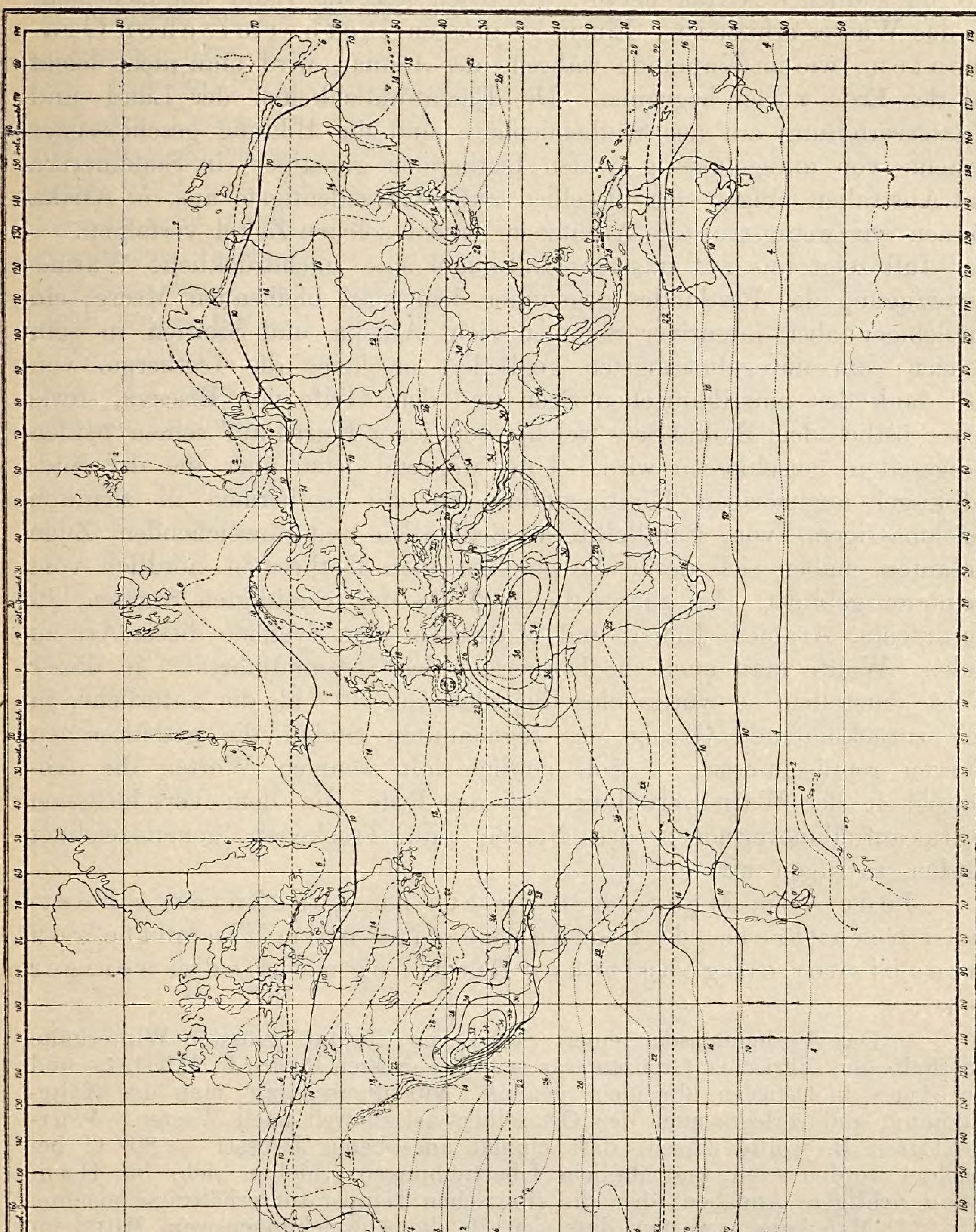


Fig. 53 b.

gleiche mittlere Januartemperatur aufweist. Im östlichen Sibirien kehren um diese Jahreszeit die Isothermen in sich zurück und umschliessen, nahe bei dem Städtchen W e r c h o j a n s k, den sogenannten n ö r d l i c h e n K ä l t e p o l d e r E r d e, von welchem wir in der klimato-

graphischen Übersicht näheres hören werden.*) Da die Südhalbkugel im Januar ihren Hochsommer hat, so müssen sich da die Dinge gerade umgekehrt gestalten; in Südamerika bekunden, wie man sieht, die Isothermen eine sehr entschiedene Neigung, direkt vom westlichen Meere weg nach sehr hohen Breiten zu streben, und ganz dieselbe Tendenz tritt im südlichen Afrika hervor, weil eben jetzt das Land ungleich mehr als das Wasser erhitzt ist. Einem so grossen isothermischen Gradienten, wie im Kaplande während des Januar, wird man nicht leicht auf der Erde wieder begegnen. Die Eigentümlichkeiten der Land- und Wasserverteilung auf der Südhemisphäre sind der Bildung geschlossener Systeme von unregelmässig ovalen Isothermen günstiger; in Südamerika und Australien prägen sich dieselben aufs unzweideutigste aus, in Afrika können wir wenigstens die Ansätze zu einem solchen Zykel verfolgen. — Der Juli zeigt uns auf unserer Halbkugel eine nachdrückliche Wärme-Bevorzugung des Festlandes gegenüber dem kühl bleibenden Meere; ein kurzlebiger aber intensiver Sommer zieht Alaska und Sibirien in sein Bereich; am unregelmässigsten gegliedert erscheint die Isotherme von 20° dank den amerikanischen Seen und dem Golfe von Biscaya, sowie weiter östlich dem Baikal-See, welcher von jener Kurve auf seinen beiden Längsseiten umschlossen wird. Und während jetzt über die der Südhalbkugel angehörigen Kontinentalmassen die Isothermen in ziemlich gleichmässigem, vom Parallelkreise nicht allzu weit abweichendem Zuge hinlaufen, haben sich dafür die geschlossenen Isothermen nördlich vom Aequator gebildet. Im südwestlichen Teile der vereinigten Staaten, in Nordafrika, Arabien, Indien und Mittelasien sind Systeme dieser Art zu finden. Wollte man auch die Isothermen des Gesammtjahres**) in dieser Weise darstellen, so würde blos diejenige von 30° als die natürliche, in sich zurücklaufende Grenze des sogenannten Sudan die geschlossenen Kurven repräsentieren. — Soll endlich mit wenigen Worten die Abhängigkeit der Wärmeverteilung auf der Erde von dem verschiedenen Wärmeaufnahmevermögen des Nassen und Trockenen gekennzeichnet werden, so sagen wir:

Jede vom Meere her an ein ausgedehnteres Festland herantretende Isotherme wird beim Eintritte von ihrer bisher eingehaltenen Richtung mehr oder weniger

*) Das Vorhandensein einer Stelle von absolut grösster Winterkälte innerhalb der sibirischen Grenzen war seit den grossen Reisen F. Müllers und Gmelins in Ostasien allgemein geahnt. Nur überschätzte man das Kältemaximum und verlegte auch den Ort selber viel zu weit nach Westen. Wargentin z. B. wollte wissen, dass einmal am oberen Jenissei — 80° C. beobachtet worden seien, und ähnliche Übertreibungen erhielten sich, bis Hansteen richtigere Angaben über die sibirischen Temperaturverhältnisse machte.

**) Man kann erwarten, dass sich, da die Abweichungen vom Mittel im Hochsommer und tiefen Winter das entgegengesetzte Vorzeichen haben, die in den Januar- und Juliisothermen hervertretenden scharfen Gegensätze in den Isothermen des ganzen Jahres ausgleichen werden. Einigermassen — keineswegs vollständig — ist dies auch der Fall, für gewisse Breiten mehr als für andere. Nach Sartorius v. Walltershausen wäre der 33. Parallel derjenige, längs dessen die Ausgleichung sich am vollständigten vollzieht, und für dessen Verlauf also der Unterschied zwischen Land- und Seeklima auf ein Minimum herabgedrückt ist.

energisch abgelenkt, und zwar in der Richtung gegen den Pol oder in derjenigen gegen den Aequator, je nachdem die kalte oder warme Jahreszeit herrscht. Beim Übergange vom Lande zum Meere ist die Erscheinung gerade die umgekehrte.

Soviel ist aus unserer Schilderung der Isothermen jedenfalls klar geworden, dass diese Linien im allgemeinen sehr weit davon entfernt sind, sich den Parallelkreisen anzuschmiegen. Wenn wir mithin den Begriff der Temperaturzone allgemeiner und den thatsächlichen Verhältnissen entsprechend formulieren wollen, so dürfen wir als Begrenzungslinien nicht mehr ideelle mathematische Linien, sondern wir müssen mit Supan, der zuerst diesen Vorschlag begründete, die in der Natur selbst gegebenen Wärmekurven wählen. Die warme Zone liegt alsdann zwischen den zu 20 ⁰ gehörigen Isothermkurven beider Halbkugeln, und zwar zerlegt Supan diese Zone in einen tropischen und ektropischen Gürtel, je nachdem die Mitteltemperatur des kältesten Monates über oder unter 20 ⁰ bleibt. Die neue gemässigte Zone liegt zwischen den Jahresisothermen von 20 ⁰ und 0 ⁰; ihre Spezialeinteilung in Aequatorial- und Polargürtel begreift sich nach dem vorigen von selbst. In eben zwei solche Gürtel zerfällt auch jede kalte Zone, jenseits der Isotherme Null. Auch auf die jährliche Wärmeschwankung will Supan eine Klima-Einteilung begründen, welche sich auch wirklich sehr gut dazu eignet, um sofort die sonst nur mit Worten zu beschreibenden klimatischen Gegensätze zu überblicken. „Ein Klima mit einer mittleren Jahresvariation bis höchstens 15 ⁰ bezeichnen wir als Aequatorial-, beziehungsweise Seeklima, von 15 ⁰ bis 20 ⁰ als Übergangsklima, von 20 ⁰ bis 40 ⁰ als Landklima und über 40 ⁰ als exzessives Landklima.“ *) Eine noch mehr den Bedürfnissen der organischen Welt angepasste Zoneneinteilung ist diejenige von W. Koeppen, welcher vor allem auch auf die Pflanzen-Phaenologie (s. o.) Rücksicht nimmt. Als die beiden wichtigsten Scheidelinien erscheinen bei ihm diejenigen, innerhalb welcher die Mitteltemperatur sich blos durch einen Monat oder durch ganze vier Monate über 10 ⁰ erhält.**)

Es ist bisjetzt der Einfluss eines Festlandes auf das Klima nur bezüglich der Wärme näher untersucht worden, es werden jedoch auch andere klimatologische Faktoren stark in Mitleidenschaft gezogen, so namentlich die Luftfeuchtigkeit, die Bewölkungs- und Niederschlagsverhältnisse. Ganz so gering, wie man vielleicht meinen möchte, ist der Wasserdampfgehalt der Luft auch über einem ausgedehnten Binnenlande nicht; der mittlere Dampfdruck in der zur libyschen Wüste gehörenden Oase Kufra unterschied sich verhältnismässig wenig von dem in Wien beobachteten.***) Die relative Feuchtigkeit freilich, welche unseren Festsetzungen gemäss bei der Beurteilung eines Klimas ungleich mehr als die absolute ins Gewicht fällt, nimmt mit der Entfernung von der

*) Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1884. S. 57.

**) Koeppen, Die Wärmezonen der Erde, nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit und nach der Wirkung der Wärme auf die organische Welt betrachtet, Meteorol. Zeitschrift, 1. Jahrgang. S. 215 ff.

***) Hann, S. 98.

Meeresküste mehr und mehr ab; dem entsprechend wird die Verdunstung eine energischere. Die ausgesprochene Tendenz zur Wolkenbildung im Küstenklima, die sich stetig mindernde Tendenz des Binnenklimas übersieht man am besten, wenn man mit Renou die Isonephen oder Linien gleicher durchschnittlicher Himmelsbedeckung*) in eine Kontinentalkarte einträgt. Für Europa ist deren Verlauf ein konsequent von Südwest nach Nordost gerichteter.

Dass in nicht allzugrosser Entfernung von einer Meeresküste das Wechselspiel von Land- und Seewind unaufhörlich im Gange ist, haben wir bereits im zweiten Hauptstück erfahren; dass dieser Luftaustausch nicht ohne Folgen für das Klima bleiben kann, liegt auf der Hand. Die Monsune sind nichts anderes als Land- und Seewinde im grossen Stile, und ihre klimatische Bedeutung werden wir bei Vorder- und Hinterindien zu würdigen haben. Auch die Meeresströmungen üben auf das Klima ihren Einfluss aus.**) Ein warmer Strom erhöht naturgemäss die Mitteltemperatur des Landes, welchem er sich zuwendet; die kolossalen Krümmungen der Isothermen nach Norden, welche man im Winter zwischen Norwegen und Spitzbergen wahrnimmt, sind der atlantischen Aequatorialströmung (Golfstrom) zuzuschreiben. Solch warme Strömungen bringen es auch zuwege, dass die Luft über den zunächst betroffenen Ufern sich mit Dampf in höherem Masse sättigt, als dies sonst der geographischen Lage nach notwendig erschiene. Der beständig über England***) und Holland hängende Himmel findet hierin seine Erklärung. Umgekehrt zeigt sich an denjenigen Festlandküsten, welche von kalten Meeresströmungen bespült werden, eine ganz auffallende Regenarmut; die Regenlosigkeit des lange zwischen Peru und Chile streitig gewesenen Küstenstriches (Wüste Atacama) hat darin ihren Grund, dass gerade hier die südwestliche Driftströmung — gegen den ausdrücklichen Willen des grossen Naturforschers nicht selten Humboldt-Strömung zubenannt — an den südamerikanischen Kontinent herantritt. Im allgemeinen wird man ein Recht haben, den Satz auszusprechen: Die Eigenart des Seeklimas wird in der Umgebung und insbesondere in der Achsenrichtung einer warmen Meeresströmung noch verstärkt, während eine kalte

*) Auf grosse Genauigkeit kann die Isonephenkarte, da man sich bei ihrer Konstruktion nur schätzungsweise gewonnener Grössen bedient, keinen Anspruch machen. Vielleicht erhöht sich die Schärfe der Zeichnung, wenn es gelingt, im Anschlusse an die Arbeiten von Mantel und Grossmann ein gewisses mathematisches Abhängigkeitsverhältnis zwischen der mittleren Bewölkung eines Zeitraumes und der während desselben aufgezeichneten Anzahl von hellen und trüben Tagen zu eruieren.

**) Hann, S. 124 ff.

***) Der spezifisch Londoner Nebel ist allerdings kein alleiniges Produkt des Küstenklimas und der Golfstromwirkung; hier ist vielmehr an die ungezählten Verbrennungskörper in erster Linie zu denken, welche — vgl. die Angaben über Aitkens Theorie der Nebelbildung im ersten Hauptstücke — jeweils als Nebelkerne auftreten. Daher auch die gelbschwärzliche Farbe der trüben Londoner Luft, welche allein beweist, dass da nicht lediglich nach R. v. Helmholtz die adiabatische, auf Kosten des inneren Wärmevorrates der elastischen Flüssigkeit erfolgende Ausdehnung der feuchten Luft Nebel-erzeugend wirkt, so sehr auch diese Erklärung in der Mehrzahl der Fälle zutreffen wird.

Strömung das Klima der Küste demjenigen des Binnenlandes anzunähern bestrebt ist.

B. Tiefen- und Höhenklima.

Die Abnahme des Luftdruckes, durch welche, wie erwähnt, die Bestimmung der Vertikalerhebung eines Punktes über dem Meeresspiegel mit Hilfe des Barometers ermöglicht wird, ist nicht von besonderer klimatischer Bedeutung.*) Mit abnehmendem Luftdrucke werden auch die barometrischen regelmässigen Schwankungen geringer. Auf Berggipfeln bleibt fast blos das auf den Morgen eines jeden Tages entfallende Minimum deutlich ausgeprägt, während das Minimum des Nachmittages sich fast gänzlich verwischt. Doch kommt weniger die absolute Seehöhe des Beobachtungspunktes als die Gipfel-Eigenschaft in betracht; auch hochgelegene Gebirgsthäler verhalten sich ähnlich wie Tiefebenen, und von dem 3500 m über dem Meere gelegenen Thale Leh (bei Kashmir) erzählt Sprung, dass daselbst die Tagesschwankung doch immer noch auf 2,4 mm ansteige, während sie in Calcutta 3, am mittleren Brahmaputra im März sogar über 5 mm beträgt.

Der geringeren Dichte der über Gebirgen noch befindlichen Luftschichten entsprechend macht sich die selektive Absorption an hoch gelegenen Orten nicht mehr so wie in der Tiefe bemerklich. In dem oben genannten Himálaya-Thale Leh z. B. hat die absorbierende Schicht bereits um ein Drittel ihrer Dichte sich verringert. Die Intensität der Sonnenstrahlung nimmt sowohl deshalb, als weil auch schon an und für sich mit wachsender Seehöhe der Wasserdampfgehalt der Luft sich vermindert, ununterbrochen zu, was jedem Bergsteiger aus Erfahrung wohl bekannt ist, und in gleichem Verhältnisse wächst die photochemische Kraft der Sonnenstrahlen. Die ausstrahlende Kraft des Erdbodens ist dagegen in der dünneren Luft herabgesetzt, es wird ein grösserer Prozentsatz (als unten in der Ebene) der eingedrungenen Strahlen zur Erhöhung der Bodenwärme verwendet, und Bodentemperaturmessungen liefern zwischen einem Berg- und einem Thalorte niemals so erhebliche Differenzen wie Lufttemperaturmessungen. „Durch hohe Bodenwärme und grosse Intensität des Lichtes unterscheidet sich das Klima der Gebirge vorteilhaft von jenem der Polargegenden bei gleicher Luftwärme. So kommt es, dass die Kuppe des Faulhorns auf einer Fläche von $4^1/_2$ Hektaren 131 phanerogame Pflanzenarten aufweisen kann, während der ganze Archipel von Spitzbergen deren blos 93 zählen soll."**) Selbst-

*) Bei sehr starker Luftverdünnung auf hohen Bergen empfindet allerdings der menschliche Organismus ein unter Umständen bis zu völliger Erschöpfung der Kräfte sich steigerndes Unbehagen. Nähere Angaben über diese Bergkrankheit („Puna" oder „Soroche" bei den amerikanischen Creolen genannt) verdankt man Humboldt, M. Wagner, Poeppig, den Gebrüdern Schlagintweit, und in unseren Tagen haben Güssfeldts für die physische Erdkunde überhaupt belangreiche Streifzüge in den chilenischen Anden uns manch wertvollen Aufschluss geliefert. Nach Jourdanets und Berts physiologischen Versuchen hat diese „Anoxhaemie" ihren Ursprung darin, dass dem Blute ein Teil des zur Unterhaltung des Kreislaufes unentbehrlichen Sauerstoffes entzogen wird.

**) Hann, S. 147.

verständlich kommt viel an auf die Exposition nach den Weltgegenden, ein Moment, welches bei der sogenannten „Lage“ von Weinbergen und Rebgärten eine überaus einschneidende Rolle spielt. Im Sommer erweist sich nach Kerner v. Marilauns direkten Experimenten die Südostseite der Südwestseite gegenüber bevorzugt.

Die Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe war bereits im zweiten Hauptstück Gegenstand unserer Beachtung, als wir die durch die Verschiedenheit der vertikalen barometrischen Gradienten in der Atmosphäre bedingten Bewegungsformen (Fön und Bora) zu erörtern hatten. Nunmehr haben wir uns mit der Thatsache selbst zu befassen, welche durch Saussures „Voyages dans les Alpes“ zuerst in den Kreis der Diskussion gerückt wurde, ebenso wie so manches andere Objekt der alpinen Physik.*) Aus einer grossen Anzahl von Beobachtungen in den verschiedensten Teilen der Erde geht ebenso wie aus den Rechnungen von Weilenmann ein Mass für den vertikalen thermometrischen Gradienten — man spricht auch von der thermischen Höhenstufe — der Luft hervor; für die Tropen kommt auf 100 m Steigung eine Wärmeabnahme um 0,58°, und diese Zahl scheint allmählig bis über 1° hinaus zu wachsen. Es braucht wohl diese Durchschnittsbedeutung der Abnahmekonstante nicht ausdrücklich betont zu werden, denn es versteht sich ja von selbst, dass lokale Verhältnisse manche Änderung hervorbringen können, wie denn selbst auf der Nordseite der Alpen der Gradient viel grösser ist, als auf der Südseite.

Überhaupt erleidet das Gesetz der Wärmeabnahme unter gewissen Umständen eine so grundstürzende Modifikation, dass umgekehrt eine Zunahme der Temperatur von unten nach oben beobachtet wird. Dies geschieht zumal in heiteren Winternächten und im Hochgebirge; die klassische Abhandlung Hanns über alpine Wärmeverteilung**) hat uns mit dem überraschenden Faktum bekannt gemacht, dass im Lungau, Pongau, Pinzgau und in ganz Kärnthen die Berggipfel in der eigentlich kalten Jahreszeit wärmer sind als die Thalsohlen. Die Hohlräume des Gebirges stellen sich hier dar als allseitig durch Querriegel abgesperrte Becken, die von den schneebedeckten Bergabhängen abfliessenden Luftmassen sammeln sich, durch starke Wärmeausstrahlung kalt geworden, in jenen Becken an, stagnieren beim Mangel genügender Ventilation und wirken erkältend auf ihre ganze Umgebung, während die aus den oberen Schichten der Atmosphäre gegen die Berghäupter niedersteigende Luft sich und damit auch jene beim Herabsinken erwärmt. Das Lagern eines Barometermaximums über dem Gebirge ist eine unerlässliche Vor-

*) Bei der Seltenheit des Originalwerkes ist es vielleicht rätlich, auf die sorgfältige Inhaltsanalyse zu verweisen, welche von R. Wolf (Biographien zur Kulturgeschichte der Schweiz, 4. Zyklus, Zürich 1862. S. 252 ff.) gegeben worden ist.

**) Hann, Die mittlere Wärmeverteilung in den Ostalpen, Zeitschr. d. d. u. öst. Alpenver., 17. Band. S. 22 ff. Dazu gehört eine Note im 4. Jahrgang der „Meteorol. Zeitschrift“, in welcher Hann eine Beobachtungsreihe bespricht, die auf seine Anregung hin von Unterwurzacher, dem zu Neukirchen bei Mittersill wohnenden Beobachter und Korrespondenten der k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus, gemacht war.

bedingung, wenn die anormale Erscheinung zum reinen Ausdrucke kommen soll. Wie Hann für die östlichen Alpen, so hat Woeikow für viele andere in- und aussereuropäische Gebirge die Temperaturveränderung mit der Höhe studiert*) und dabei festgestellt, dass die lokale Verschiedenheit eine sehr grosse ist. Als Beispiel von sehr, ja anomal grosser Wärmeabnahme in vertikaler Richtung, werden unser Harz, der Ben Nevis in Schottland und ein Berg auf der anglochinesischen Insel Hongkong aufgeführt. Jedenfalls nimmt die Temperatur in Gebirgsländern weniger rasch ab, wenn mildes, als wenn stürmisches Wetter herrscht; im letzteren Falle nämlich sind die Verhältnisse ähnliche, wie sie bei einem aufsteigendem Luftstrome obwalten.**)

Mindestens ebenso bedeutungsvoll für die Gegensätzlichkeit von Berg und Flachland ist die Verschiedenheit des Temperaturganges. Um dies zu übersehen, müssen wir von früher rekapitulieren, wie sich in der Ebene unter normalen Verhältnissen die Temperatur von Stunde zu Stunde ändert. Innerhalb der Tropen ist die tägliche Wärmeschwankung unbedeutend, in höheren Breiten um so merklicher. Am Morgen, kurz vor dem Wiedererscheinen der Sonne, pflegt das Thermometer seinen tiefsten Stand einzunehmen, gegen zwei Uhr erreicht das Quecksilber seinen Maximalstand, und von da aus tritt wieder ein ziemlich rasches Sinken ein. Im Sommer ist selbstredend die Amplitude der Tagesschwankung grösser als im Winter. Wesentlich anders stellen sich die Dinge auf Gebirgsgipfeln: Das Temperaturmaximum wird viel früher erreicht, die mittlere Amplitude wird durch den Unterschied der Jahreszeiten verhältnismässig nur wenig beeinflusst; die Tagesschwankung selbst ist vielfach eine geringere. In Fig. 54 sehen wir zwei auf dem Hoch-Obir (in den Karawanken) verzeichnete Kurven des täglichen Temperaturganges vor uns; b entspricht der kältesten, a der wärmsten Zeit des Jahres. Die Sommerkurve hat allerdings etwas energischere Formen wie die Winterkurve, allein der Gegensatz dieser Konfigurationen ist auch nicht annähernd ein solcher, wie ihn etwa Mohns

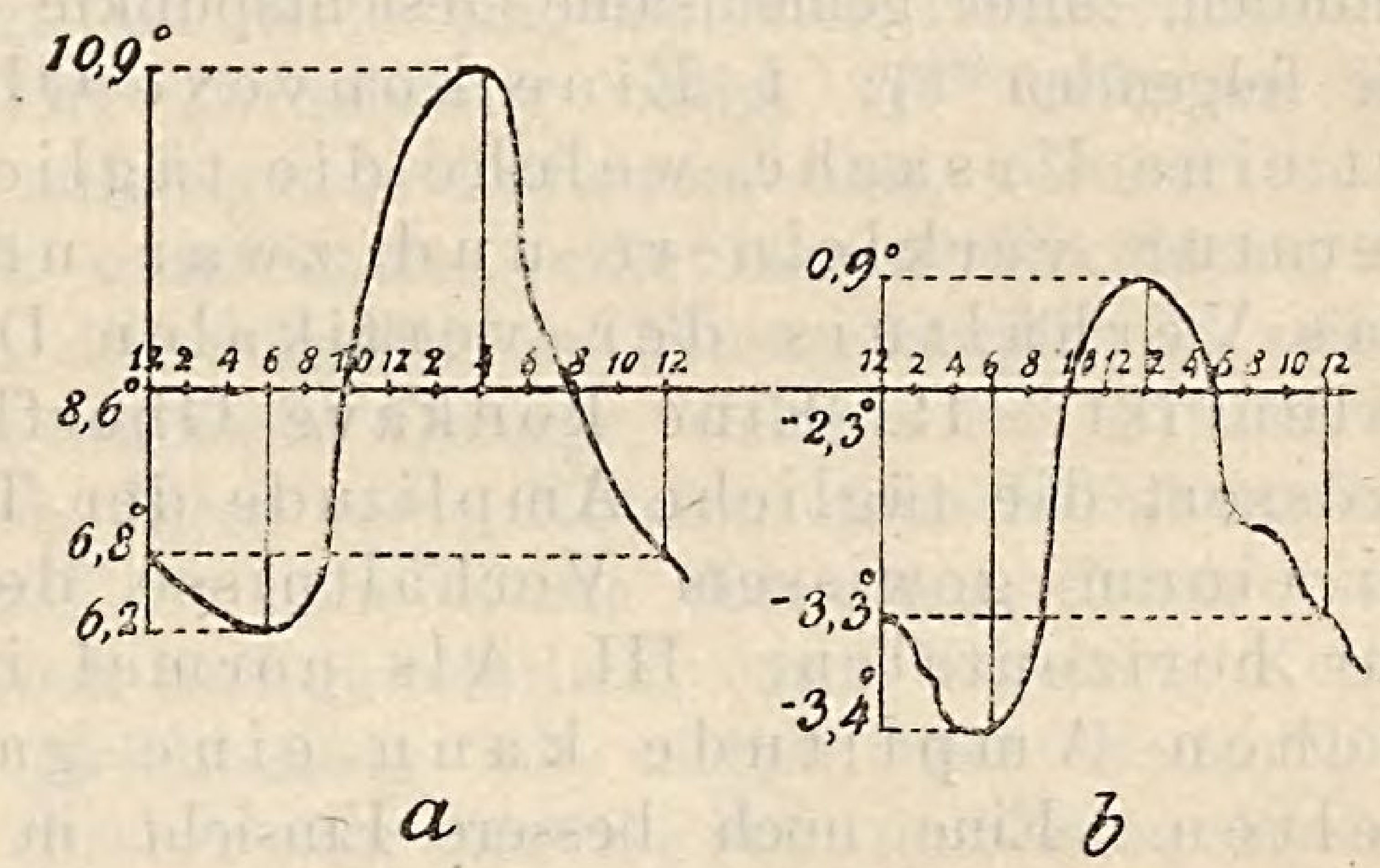


Fig. 54.

*) Woeikow, 1. Band, S. 208 ff.

**) Bei den theoretischen Erörterungen über den thermischen Vertikalgradienten hat man erst spät, nach dem Vorgange von Maurer, mit dem Umstande gerechnet, dass die am Erdboden freilich sehr geringe Wärmeleitungsfähigkeit unserer Lufthülle beim Erheben über die Erde sich ziemlich rasch erhöht.

für die Hafenstadt Christiania aufgenommene Diagramme*) uns vorführen; nach Pernter, dem wir unsere Kurven verdanken, schwankt die Amplitude im Durchnitte nur um einen Jahresbetrag von 4⁰. Das Maximum solarer Bestrahlung fällt auf die Zeit zwischen 10 und 11 Uhr vormittags, während es im benachbarten Klagenfurt erst um 2 Uhr nachmittags beobachtet wird. Die starke Verzögerung hängt damit zusammen, dass die in den Thälern sich ansammelnden Nebel, welche viele Sonnenstrahlen absorbieren, erst um die Mittagsstunde sich lichten. Wer die unendliche Vielgestaltigkeit der klimatischen Erscheinungen und deren Abhängigkeit vom Bodenrelief kennt, wird sich nicht wundern, dass auch die soeben als durchgängig richtig erkannte Wahrheit manchmal in ihr direktes Gegenteil umschlägt: Sils im Engadin hat eine grössere Temperaturschwankung als Chur, Leh eine grössere als Peschawer – Hochthäler sind überhaupt nicht ohneweiters mit isolierten Spitzen zu verwechseln.**) Das Klima ersterer zeigt immer eine gewisse Annäherung an den Charakter des Kontinentalklimas; exzessive Schwankungen finden daselbst also immer ihre Stelle. Wir beschliessen diesen Teil unserer Betrachtungen mit der Reproduktion gewisser Sätze von Woeikow, welche es ermöglichen, die Verschiedenartigkeit der Einzelfälle, somit thunlich, unter gemeinsame Gesichtspunkte zu bringen. Diese Sätze sind die folgenden***): I. Eine konvexe Oberfläche (Hügel, Berg) ist eine Ursache, welche die tägliche Amplitude der Temperatur verkleinert und zwar um so mehr, je grösser das Verhältnis der vertikalen Dimension zur horizontalen ist; II. Eine konkave Oberfläche (Thal, Mulde) vergrössert die tägliche Amplitude der Temperatur, aber nur bis zu einem gewissem Verhältnisse der vertikalen Dimension zur horizontalen; III. Als normal im Verhältnisse zur täglichen Amplitude kann eine ganz ebene Oberfläche gelten. Eine noch bessere Einsicht in die Beziehungen der Tagesschwankung zur Örtlichkeit wird man erhalten, wenn man die Wanderungen der Stundenisothermen auf dem Erdballe verfolgt. Die Arbeit, welche hiezu aufgewendet werden muss, ist allerdings eine sehr grosse; es gilt, an die tausendfältigen Beobachtungen der verschiedenen Stationen die kritische Sonde anzulegen, dieselben durch Reduktion auf Einheitszeit und Meeresniveau, wie solche Hann — im Gegensatze zu Woeikow — verlangt, vergleichbar zu machen und nun erst die Kartenbilder zu entwerfen. F. Horn hat hiezu einen vielversprechenden Anfang gemacht.

Wenn unsere Behauptung zutrifft, dass das Klima von Hochthälern, von deren Binnenlage vorerst abgesehen, an und für sich schon an das kontinentale erinnert, so wird umgekehrt, und das sahen wir ja ebenfalls schon zum teile bestätigt, für Gipfel eine Art insularen Klimas angesprochen werden dürfen. Dies trifft denn auch hinsichtlich des jährlichen Wärmeganges zu, indem auch hier die Temperaturextreme

*) Mohn, S. 22 ff.
**) Hann, S. 171.
***) Woeikow, 1. Band, S. 166.

sich abstumpfen, und der Eintritt gewisser Phasen sich den Niederungen gegenüber verfrüht oder verspätet. Ungemein bedeutend und in die Augen fallend ist der Einfluss des Gebirges auf die Hydrometeore. Die relative Feuchtigkeit zwar verrät keine Tendenz zu irgendwelcher gesetzmässiger Veränderung mit der Höhe, die Wasserdampfmenge selbst aber nimmt nach oben zu rasch ab, und nach Hanns Rechnung hat man bereits in einer Seehöhe von 2000 m die halbe Wasserdampfmenge der Atmosphäre unter sich. „Die Gebirge spielen daher in bezug auf die Wasserdampfhülle der Erde eine grosse Rolle, sie können bei beträchtlicher Erhebung einflussreiche Wetterscheiden werden und auf geringe Entfernungen hin wohl befeuchtete und sehr trockene Gebiete von einander trennen.“*) Jähe Schwankungen des Feuchtigkeitszustandes auf hohen Bergen bildet die Regel, sie sind abhängig davon, ob in dem steten Kampfe zwischen auf- und absteigender Luftbewegung gerade die eine oder andere den Sieg davongetragen hat. Für die Abhängigkeit der Bewölkung von der senkrechten Erhebung über den Boden lässt sich eine durchgreifende Norm nicht aufstellen; dass isolierte Kuppen gerne mit oft sehr sonderbaren Wolkenfahnen geschmückt erscheinen, ist (s. o.) bekannt**) und kausal durch die Kondensationswirkung dieser Berge bedingt, zu deren eingehenderer Besprechung wir jetzt überzugehen haben. Der Bergabhang nötigt die Luft, an ihm emporzusteigen, und dieser aufsteigende Luftstrom hat, worüber uns ja die meteorologische Dynamik unterrichtete, eine rasche Abkühlung der Luft und eine Kondensation des mitgeführten Wasserdampfes in seinem unmittelbarem Gefolge. Das arabische Gebirge, welches das Nilthal östlich einsäumt, verschafft sich durch seine Kondensationsthätigkeit energische Niederschläge, während die nahe Küste des roten Meeres dieser gänzlich entbehren muss. Doch sind gewöhnlich, vorab bei einem Kettengebirge, nicht alle Hänge gleichmässig mit meteorischer Feuchtigkeit bedacht, sondern es muss eine trockene Seite und eine nasse Seite unterschieden werden; der Schiffersprache sich anschliessend nennt man wohl auch die erstere Leeseite, die zweite Luvseite.***) Einen der ausgesprochensten Fälle des Unterschiedes zwischen beiden Seiten eines Gebirgslandes bietet uns die Südinsel von Neu Seeland; am

*) Hann, S. 176. Die meteorologische Zentralanstalt der Schweiz hat sich bemüht, möglichst viele Gutachten über die Gebirge als Wetterscheiden einzuholen und zusammenzustellen. Geleugnet wird diese ihre Eigenschaft von keinem der vernommenen Beobachter, doch gehen im einzelnen die Meinungen der Experten weit auseinander.

**) Dem Sprichworte anheimgefallen ist in dieser Hinsicht besonders der Pilatus am Vierwaldstätter See; auch das an sich schon kühn geschwungene Wiesbachhorn wird durch die ihm häufig anhaftende Wolkenhaube noch auffallender. Ganz besonders merkwürdige und nicht leicht zu erklärende Nebelkappen trägt mitunter nach von E. Naumann aus Japan mitgebrachten Zeichnungen der hohe Vulkankegel Fuji-no-yama unweit der Hauptstadt Tokio.

***) Der Seemann nennt Luv die Seite des Schiffes, welche direkt vom Winde getroffen wird, Lee die im „Windschatten“ befindliche. Dass letztere bei einem Gebirge trocken bleiben muss, wenn der Wind seinen Wasserdampf bereits ausgeschieden hat und nun, nach Überschreitung des Kammes, unter kontinuierlicher Erwärmung sich ins Thal herabsenkt, ist ohne weitere Ausführung verständlich.

Westabhange der dortigen „Alpen“ beträgt die jährliche Regenmenge 287, am Ostabhange nur 60 bis 80 Zentimeter! Assmann hat über den Gegensatz zwischen Luv und Lee im Gebiete der deutschen Mittelgebirge (Thüringer Wald etc.) gründliche Studien in einer den „Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde“ angehörigen Schrift (Stuttgart 1886) angestellt: er findet, dass diese Gebirge den in Lee gelegenen Niederungen einen kontinentalen Charakter verleihen, wogegen die Luvseite ein limitiertes, das bedeutet eben dem Küstencharakter verwandtes Klima wahrnehmen lassen. Wenn aber ein Berg sehr hoch aufragt, kann sich der erwähnte Gegensatz seiner Abhänge gänzlich verlieren, wie z. B. nach Dutton auf dem Mauna Loa der Sandwichs-Inseln (Montblanc-Höhe) allseitig gleiche Regenverteilung herrscht. Dies rührt davon her, dass der Berggipfel bis in die Antipassatströmung hineinreicht, so dass der Passat nicht den Gipfel zu überschreiten und auf dessen anderer Seite als trockener, Fön-artiger Wind herabzufliessen vermag. In den höheren Regionen des Bergriesen ist, sehr im Gegensatze zu den übrigen, eine ausgesprochene Luv- und Leeseite zeigenden Unebenheiten von Hawaii, nur ein Wechsel von See- und Landwind bemerkbar, welcher für ein gemässigtes, gleichmässig feuchtes Lokalklima sorgt. Der Widerstreit der von beiden Seiten kommenden Luftströme kann in solcher Höhe sogar unter Umständen eine Kalme zuwege bringen; so erzählt v. Brandis, dass Monate lang die aus dem Krater des javanischen Feuerberges Merapi (2800 m) etwa 400 m hoch aufstrebende Rauchsäule ganz grade verblieb und keinerlei seitliche Beugung erfuhr. Mit der Höhe im Gebirge, ja sogar mit der Annäherung an das Gebirge nimmt der Regenfall zu. Das Vorhandensein des Himálaya z. B. verschafft den in seiner Wirkungssphäre gelegenen Ländern Regen zu einer Zeit, wo die allgemeine Wetterlage solchen gar nicht zu versprechen scheint.*) Allerdings darf man nicht erwarten, dass man, je höher man steigt, nun auch umso reichlichere Niederschläge zu erleben hoffen dürfe, denn von einer gewissen Seehöhe ab tritt wieder eine Abnahme ein. Nach Sykes liegt diese Maximallinie des Regenfalles in den indischen Ghats 1400 m, nach Junghuhn liegt sie für die Gebirge der Insel Java etwa 1000 m über dem Meere.

Die Gebirge sind durch reichlicheren Schneefall von den Ebenen ausgezeichnet, wie wir dies früher bereits, als die sogenannte Schnee-

*) Die hochwichtigen Untersuchungen Blanfords über die ostindischen Winterregen sind uns durch einen Artikel in der „Zeitschr. d. österreich. meteorol. Gesellsch.“ (19. Jahrgang, S. 452 ff.) zugänglich gemacht worden. Diese Regen bildeten lange ein physikalisches Paradoxon, da sie in eine Zeit fallen, während deren der Luftdruck über dem nördlichen Hindostan ein sehr hoher, die Luft kalt und trocken ist. Die im Norden vorliegende Gebirgsmauer nun gibt Veranlassung zu lokalen Depressionen, die man früher irrtümlich als aus Afghanistan eingewandert betrachtete, und die aus Süden kommenden, mit Wasserdampf beladenen Luftströmungen nehmen an der Ost- und Nordseite der Zyklone eine aufsteigende Bewegung an, welche in bekannter Weise zu Regenbildung führen muss. Wäre aber kein Himálaya vorhanden, so würde der aus dem Süden herangeführte Wasserdampf von Nordostwinden jeweilig wieder fortgetragen werden, ohne zur Kondensation zu gelangen, die winterlichen Regengüsse, welche drei- bis viermal in dieser Jahreszeit einzusetzen pflegen, wären nicht möglich.

linie zur Diskussion stand, gesehen haben. Die Aequatorialgrenze des Schneefalles schiebt sich naturgemäss im Hochgebirge viel weiter vor, als im Flachlande, in welchem ihr Verlauf erst noch genauer festgestellt werden soll*); dass es mit ewigem Schnee bedekte Berge — man denke an den Kilima ndjaro im östlichen Afrika — auch in der Tropenzone gibt, dürfte allgemein bekannt sein.

Ebenso wie Land- und Seebrise das ihrige thun, um das Küstenklima auszugestalten, ebenso sind auch die Berg- und Thalwinde, die wir im zweiten Hauptstücke als eines der regelmässigen Windsysteme der Erde kennen lernten, nicht ohne Einfluss auf das Klima der Gebirgsländer**). Wenn die Luft bei tage an den Gebirgshängen in die Höhe steigt, so erhöht sich längs derselben die relative Feuchtigkeit, während es in den Thälern trockener wird. Damit erklärt sich die bekannte Neigung der Bergländer für Nachmittagsregen und — im Sommer — Abendgewittern, die aber, weil sie eben in keiner Weise an ausgedehntere Zyklonalgebiete gebunden sind, gemeiniglich das Wetter nicht dauernd verschlechtern. Der vom Berge herabwehende Abendwind führt die Feuchtigkeit wieder dem Thale zu, die über den Gipfeln schwebenden Wolken zerstreuen sich, und am frühen Morgen erstrahlt die Bergeshöhe in einer Klarheit, welche die beste Bürgschaft dafür gibt, dass um diese Zeit die Aussicht keinen Hindernissen begegnet. Nahe dem Aequator kann das Auf- und Abwandern des Wasserdampfes mit viel grösserer Leichtigkeit beobachtet werden, als in den gemässigten Breiten. Möglicherweise kann für die schärfere Untersuchung dieser alternierenden Bewegung noch die Photographie gute Dienste leisten; wenigstens hat der berühmte Astrophysiker Janssen sowohl auf dem Pic du midi in den Pyrenäen als auch auf einigen Vorbergen des Himálaya sehr schöne Platten mit den von der aufgehenden Sonne veranlassten Vertikalbewegungen einer Nebelschicht erhalten, welche zuerst unbeweglich über der Thalsohle lag und allmählig in die bekannten Fluktuationen geraten war. Temporäre und örtliche Störungen des klimatischen Allgemeincharakters, wie sie im Gefolge der Fallwinde Fön und Bora auftreten, wären hier noch eingehender zu besprechen, wenn dies nicht bereits bei früherer Gelegenheit geschehen wäre.

Zum Schlusse dieses Abschnittes noch ein paar Worte über die klimatische Funktion der Gebirge in ihrer Eigenschaft als Hemmnisse des Luftaustausches. Dass diese Eigenschaft das Entstehen lokaler Kältepole begünstigen und damit sehr ungünstig auf das Klima einwirken kann, wissen wir von früher, allein sehr häufig ist der vom

*) Eine Spezialuntersuchung über diese Frage ward, wie Stauber in seiner gekrönten Preisschrift über die Didaktik der Erdkunde mitteilt, in dem geographischen Seminar der Universität Leipzig von H. Fischer vorbereitet; seitdem erschien dieselbe (Leipzig 1888). Hann (S. 193) gibt nur einzelne Daten, deren bemerkenswerteste die sein möchten, dass in Ostasien selbst unter dem Wendekreise des Krebses noch Schnee fällt, in Amerika noch unter 26° n. Br., auf der Südhalbkugel dagegen kaum diesseits 33° s. Br. Sizilien weiss von Schnee so wenig, dass in Palermo das Fallen der spärlichen Flocken, welches sich vielleicht alle Lustren einmal ereignet, als eine Art Volksfest betrachtet werden soll.

**) Hann, S. 198 ff.

Windschutz erzeugte distinkte Klima-Typus ein solcher, wie ihn das Wohlbefinden des Menschen zur Voraussetzung hat. Die klimatischen Kurorte Oberitaliens, zumal der „Riviera", stehen und fallen mit der Sicherheit, welcher ihnen nördlich vorgelagerte Gebirgsketten vor dem kalten Nordwinde verleihen,*) ebenso wird das nördliche Indien im Windschirme des Himálaya auch im Winter vor polaren Luftströmungen fast gänzlich bewahrt, und die abnorm niedrigen Temperaturen, welche in den Vereinigten Staaten oft selbst noch die Gelände am mexikanischen Golfe heimsuchen, sind nur dadurch ermöglicht, dass sämtliche Gebirgszüge Nordamerikas eine wesentlich meridionale Streichungsrichtung einhalten. Spalten im Gebirge, welche auf dessen Achse senkrecht stehen, werden dagegen stets von Zugluft heimgesucht sein, die Winde wehen in solchen Lücken immer nur aus zwei einander diametral gegenüberliegenden Quartieren der Windrose, wie dies Penck für den Brenner sehr bestimmt nachzuweisen vermochte, und wenn der Einschnitt nur tief genug ist, wird dessen Mündung niedrigere Temperaturen aufweisen, als der übrige Abhang. Woeikow führt auf diese Ursache die grosse Kälte des russischen Amurgebietes zurück. In der That würde die geographische Lage dieses Annexes von Sibirien es sonst schwer begreiflich machen, wie es kommt, dass der genannte Fluss durch Eisgang jährlich mehrere Monate lang für die Schiffahrt unbrauchbar wird. —

Unserer Charakteristik der für die theoretische Klimakunde ausschlaggebenden Momente haben wir noch zwei weitere hinzuzufügen, für deren meritorische Erörterung im bisherigen Systeme kein rechter Platz vorhanden war. Es handelt sich um die Beziehungen des Klimas zu beschneitem Boden einerseits, zu Pflanzen- bestandenem Boden andererseits.

A. Der Einfluss ausgedehnter Schneeflächen auf das Klima.

Die Notwendigkeit, die klimatische Bedeutung der Schneedecke in betracht zu ziehen, ist zuerst von Woeikow hervorgehoben worden, ihm haben wir unser gegenwärtiges positives Wissen von der Sache fast ausschliesslich zu danken, und so ist es nur natürlich, dass wir unsere eigene Darstellung auch völlig an die seinige**) anknüpfen. Die auf eine Schnee- oder Eisfläche auffallenden Sonnenstrahlen können mit ihrem Wärmevorrate weder dem Boden noch der Luft zu gute kommen, denn sie müssen die mechanische Arbeit des Schmelzens leisten; selbst die blosse Verdunstung an einer solchen Oberfläche ist einem nicht unerheblichen Wärmeverbrauche gleich zu achten. Zudem kühlt sich die Schnee-

*) Den von Norden kommenden Wanderer überrascht es, dass die südliche Vegetation, welche ihm an den italienischen Gebirgsseen entgegentritt, bald wieder verschwindet, sobald ihn sein Weg in die eigentliche Lombardei führt. Für diese ist eben der Windschutz der Alpen kein ausreichender mehr. Nach Hedinger (Der Ölbaum, Prag 1886) gedeiht die Olive im tirolischen Sarca-Thale und an den Ufern des Garda-Sees (der bekannte Hain von Torbole), um nach längerer Unterbrechung ihrer meridionalen Verbreitung erst wieder auf Corsica und im mittleren Italien kräftiger aufzutreten. Wohl mag auch die kräftige Wärmerückstrahlung in den engen Felsrissen, welche jene Gewässer bergen, das ihrige beitragen.

**) Woeikow, 1. Band, S. 56 ff.

decke durch Ausstrahlung zur Nachtzeit wieder ab, und auch dadurch erleiden die benachbarten Luftschichten eine Erniedrigung ihrer Temperatur. Alle diese Vorkommnisse in ihrem Zusammenwirken machen die Sommer in hohen Breiten so kalt, kälter, als es durch das solare und selbst als es durch das kontinentale Klima an sich geboten wäre. An Orten, deren Winterschneefall geringer ist, wird der Schnee durch die warme Sommerluft rasch weggebeizt, und dann kann sich der Sommer mit einer Kraft entfalten, welche bei der Erinnerung an den Winter etwas befremdendes an sich hat. Selbst in der nächsten Nähe des Winterkältepoles, an der Lena und Kolyma wird eine kurzlebige aber individuenreiche Vegetation durch die Julisonne emporgezaubert, während die an sich viel wärmere Westküste Grönlands, des ständig übereisten Erdgebietes, sich grossenteils mit den klimatisch dauerhafteren Kryptogamen zu begnügen hat. Juni und Juli sind in Werchojansk um acht Grade im Mittel wärmer, als an dem unter gleicher Polhöhe gelegenen Küstenpunkte Westgrönlands. Noch markanter tritt die verschlechternde Einwirkung schmelzender Schnee- und Eismassen auf der Australhälfte unserer Erde hervor. Wir verdichten unsere Ausführungen in dem Satze: Schnee- und Eisflächen in polaren und subpolaren Ländern vermindern die Sommerwärme.

Es ist jedoch, wenn wir tiefer in die Sache eingehen, die Wirkung des Schnees von derjenigen des Eises mehrfach verschieden. Ersterer hat eine rauhe, stark differentiierte Oberfläche, was der nächtlichen Ausstrahlung zu statten kommt, ferner ist Schnee, seiner vielen lufterfüllten Zwischenräume halber, auch ein schlechterer Wärmeleiter als fest gefrorenes Wasser. Durch letztere Eigenschaft erweist er sich, das ist dem Landmann bekannt genug, als Schützer des von ihm bedeckten Bodens. Dieser Schutz ist im allgemeinen ein um so erfolgreicherer, je mehr die Lufttemperatur unter den verschiedenen erkältenden Einflüssen der Schneedecke zu leiden hat. Woeikow konnte für mehrere russische Provinzen den direkten Nachweis führen, dass trotz klarer Tage und antizyklonaler Luftstagnation die Luftwärme im Winter in dem Masse sich hebt, als der Schneefall sich mindert. Im Dezember 1877 fiel im östlichen Russland ungewöhnlich wenig Schnee, und dies zeigte sich darin, dass die Monatstemperatur nur um die Hälfte der sonstigen Differenz mit ihren niedrigsten Werten unter dem monatlichen Mittel blieb.

Die relative Feuchtigkeit wird über einem schneebedeckten Areale in ähnlicher Weise sich vermehren, wie über einem Süsswassersee, es müsste denn die Oberfläche des Schnees entschieden kälter als die angrenzende Atmosphaere sein. Wo der Schnee in gleichmässiger Schicht den Erdboden bedeckt, da wird die Luft von ihrer Sättigung nicht weit entfernt sein.

B. Der Einfluss der Vegetation, zumal des Waldes, auf das Klima.

Dem Scharfblicke der griechischen Naturforscher war es nicht entgangen, dass eine Waldgegend, wenn man ihr durch Abholzen ihren Bestand entzogen hatte, ein in mancher Hinsicht anders beschaffenes Klima erkennen liess, als vorher, und das „Altern der Berge“ bildete

schon für den tiefer als seine Volksgenossen blickenden Platon einen Gegenstand nationalökonomischer Sorge.*) Wenn trotzdem im Altertum und auch später noch, bis ins laufende Jahrhundert herein, selten etwas durchgreifendes für Waldschutz und forstliche Statik geschah**), so lag dies an der mangelnden Einsicht der berufenen Kreise. Die Forstklimatologie ist recht eigentlich ein Kind der letzten drei Jahrzehnte. Eines der ersten Länder, welche mit der planmässigen Errichtung von forstlich-meteorologischen Beobachtungsstationen vorgingen, war Bayern, und hier entstand auch das Material zu dem ersten systematisch den Gegenstand behandelnden und eine Fülle neuer Gesichtspunkte eröffnenden Buche.***) In Preussen und den Reichslanden, in Oesterreich-Ungarn, Italien und Frankreich ist man dem guten Beispiele gefolgt.†) Natürlich hat die Forstmeteorologie andere Ziele als die theoretische Wissenschaft; Winde und Luftdruckschwankungen haben für erstere ein nur untergeordnetes Interesse, die Temperatur und Feuchtigkeit der Luft dagegen, Verdunstung, Bodentemperatur und überhaupt das physikalische Verhalten des Bodens gegenüber meteorischen Einwirkungen treten in die erste Reihe. Temperaturbeobachtungen in- und ausserhalb der Wälder lassen erkennen, dass der Wald einen limitierenden Einfluss auf die Luftwärme ausübt; die tägliche Temperaturschwankung ist innerhalb des Waldes geringer als draussen, und ein gleiches lässt sich für die von den Jahreszeiten abhängigen Temperaturschwankungen behaupten. Warme Länder lassen diese Wirkung grosser Baumbestände viel deutlicher hervortreten als solche, die an sich schon ein kühles und feuchtes Klima besitzen. Noch auffallender als in der Luft macht sich im Boden der Gegensatz zwischen Wald und freiem Felde geltend; hier sind die Oszillationen der Temperatur viel geringer als dort. Auch für die Feuchtigkeitsverhältnisse ist es durchaus nicht einerlei, ob ein Areal mit Baumwuchs bestanden ist oder nicht.††) Zumal in den trockenen Sommermonaten vergrössern Forste

*) Belege darüber findet man in der schon mehreremale von uns zitierten physikalischen Geographie Griechenlands von Neumann-Partsch (S. 45 ff.).

**) Ausnahmen kommen wohl gelegentlich vor; eine der merkwürdigsten, von einer gewissen Divinationsgabe zeugende ist die Salzburger Forstpolizeiordnung von 1524, welche von E. Richter dankenswerterweise der Vergessenheit entrissen worden ist.

***) Ebermayer, Die physikalische Einwirkung des Waldes auf Luft und Boden, Berlin 1873. Auch Woeikow hat eines der schönsten Kapitel im ersten Bande seines viel zitierten Werkes (das dreizehnte) der Klimatologie des Waldes gewidmet.

†) Das Organisationsstatut, welches Lorenz v. Liburnau für die österreichischen Stationen ausarbeitet, verlangt Parallelstationen im Walde, an dessen Rande und in grösserer Entfernung von diesem und Radialstationen in verschiedenen Teilen des Waldes, um das Verhalten von trockenen Luftströmungen beim Durchgange durch die Baumkomplexe genauer kontrollieren zu können.

††) Bekannt ist, dass schon einzelne aber mächtige Bäume als Kondensatoren und Regenbringer wirken können; dahin gehören z. B. der berühmte, jetzt leider umgehauene Drachenbaum bei Orotava (Canarien), sowie die von G. Rohlfs beschriebenen Regenbäume der Tropen. Eine nur kleine Baumpflanzung verhalf den Ansiedlern des ozeanischen Eilandes Ascension zu regelmässigen Niederschlägen. Dabei ist es von Wichtigkeit, welcher Art die Baum-

die Feuchtigkeit der Luft, in den Wintermonaten, während deren die Luft ohnehin feucht ist, scheint der Wald mehr ausser Aktion gesetzt zu sein. Die Schneedecke kann in der Zeit ihres Schmelzens den Unterschied in der Feuchtigkeit der Wald- und der freien Luft auf ein Minimum herabdrücken. Auch hält der Wald die ihm zugeführte Feuchtigkeit zurück, er lässt sie nicht so rasch durch Verdunstung in die Atmosphäre zurückkehren, wie es unter freiem Himmel geschehen würde; solange die Luft nur warm genug ist, erweist sich die Verdunstung ausser dem Walde zum mindesten noch einmal so lebhaft als in demselben. So gross könnte diese Differenz freilich nicht ausfallen, wenn blos die niedrigere Temperatur und die grössere relative Feuchtigkeit des Waldes in betracht kämen; vielmehr ist klar, dass auch der Schutz sehr in die Wagschale fällt, welchen die Bäume gegen den die Verdampfung befördernden Wind gewähren. Darüber, ob eine Waldgegend direkt begünstigend auf die absolute Vermehrung der Niederschläge wirke, war man bisher nicht im klaren, und angesichts der verhältnismässig kurzen Beobachtungsreihen, über welche man zur Zeit verfügt, konnte man es auch nicht wohl sein, indessen erachtet Woeikow die Frage doch schon als im positiven Sinne entschieden. *) Dieser umsichtige Forscher hat zuerst die Fragestellung insofern verändert, als er nur für bestimmte Erdgegenden die Gemeinsamkeit betonte, für verschiedene Kontinente und Kontinentteile dagegen auf ein abweichendes Verhalten sich gefasst machte, allein es zeigte sich doch allenthalben eine sehr grosse Übereinstimmung. Nur da sind die Wälder ziemlich einflusslos, wo mächtige, annähernd konstante Luftströmungen wehen, im allgemeinen aber darf man wohl die folgende Regel aufstellen:

Waldungen beeinflussen stets das Klima im Sinne einer Annäherung an den maritimen Charakter, indem sie die Temperaturgegensätze abstumpfen und rasche Verdunstung hintanhalten; auch fördert ihr Vorhandensein die Ausscheidung des atmosphaerischen Wassers.

Früher meinte man wohl auch, dass die Waldluft als solche von der gewöhnlichen atmosphaerischen Luft sehr verschieden und durch ihre veränderte Zusammensetzung dem tierischen Organismus in seinem Gedeihen besonders förderlich sei. Diese Meinung jedoch kann durch

vegetation ist: Laubwälder befördern, wenn sie nicht zu den immergrünen zählen, die Verdunstung viel mehr als die Nadelholzwälder, und wieder sind Tannenbestände in ihrer „Geschlossenheit" viel geeigneter als Kiefernschläge, um die einmal aufgenommene Menge atmosphaerischen Wassers zurückzuhalten.

*) Woeikow, 1. Band, S. 280. Nach Anderlind kann man im Norden Palaestinas, dem einzigen Teile dieses dereinst so gesegneten Landes, wo sich noch bewaldete Bergrücken vorfinden, die Vermehrung der Regenmenge durch diese Baumbestände deutlich konstatieren. Bei Bussaco in Portugal ferner befindet sich auf sonst vegetationslosem Boden ein durch die Mönche des dortigen Klosters liebevoll gepflegter Hain, und dieser sichert der Umgegend, obwohl dieselbe schon ganz und gar der Zone der subtropischen Winterregen anheimfällt, wie Kollbach erzählt, auch in den dort sonst sehr heissen und dürren Sommerszeit ein nicht ganz unbeträchtliches Mass von Feuchtigkeit.

eine Reihe neuerer, von Ebermayer vorgenommener Untersuchungen*) als endgiltig beseitigt angesehen werden. —

Wir sind jetzt soweit gekommen, dass wir das Klima in seiner Bedingtheit durch die verschiedensten Faktoren ziemlich gründlich kennen gelernt haben. Allein stets haben wir das Klima als etwas fertiges, gegebenes, nur zwischen nicht allzu weit auseinander liegenden Grenzen schwankendes angenommen; die Frage, ob es sich auch anders verhalten, ob das Klima ehedem von dem jetzigen für eine bestimmte Erdstelle verschieden gewesen sein und etwa in einer Folgezeit sich auch wieder abweichend gestalten könne, ist von uns noch nicht berührt worden, und doch ist diese Frage eine hochwichtige, sei es dass wir tiefgreifende, mit den geologischen Umformungen der Erdrinde in Beziehung stehende oder dass wir nur geringfügige Veränderungen in einer uns näher liegenden Zeit ins Auge fassen. Diese beiden Möglichkeiten sollen nunmehr das Objekt einer besonderen Betrachtung bilden.

Säkuläre Klimaschwankungen.

Als wir im ersten Hauptstücke der Gletscher, dieser gigantischen klimatologischen Registratoren des Niederschlages,**) ausführlicher ge-

*) Neben neueren Veröffentlichungen kommt besonders die Schrift „Die Beschaffenheit der Waldluft und die Bedeutung der atmosphaerischen Kohlensäure für die Waldvegetation" (Stuttgart 1885) in betracht. Ebermayer fand, dass der Kohlensäuregehalt der Waldluft kaum nennenswert von demjenigen der freien Luft sich unterscheidet. In Prozenten ausgedrückt, betrug dieser Gehalt im Walde durchschnittlich 0,0329; auf der bayerischen Hochebene 0,0320; in den nördlichen Kalkalpen 0,0316. Die wichtigsten Bezugsquellen für Kohlensäure sind gewisse Exhalationen von Gewässern, die (langsamen und akuten) Verbrennungsprodukte der Organismen und organischen Stoffe und endlich die Grundluft. Der gesamte Kohlensäurebedarf aller irdischer Pflanzen wird auf 90 Billionen Kilogramm im Jahre veranschlagt. In der Aufnahme und Abgabe der beiden Luftbestandteile Sauerstoff und Kohlensäure durch die Blätter besteht nun eine gewisse Wechselbeziehung, und mit dieser war, wenn der zweite der genannten Bestandteile so geringe Schwankungen zeigte, ein gleiches auch für den erstgenannten wenigstens sehr wahrscheinlich geworden. Man weiss auch, dass alle die verschiedenen Rezeptions- und Assimilationsprozesse selbst in einem Glashause die einmal vorhandene Sauerstoffmenge nicht zu alterieren vermögend sind; wieviel weniger war dies sonach zu erwarten in einem Walde, dessen Zusammenhang mit der freien Atmosphäre doch ein viel weniger unterbrochener ist. Ebermayer stützte sich bei den zur Bekräftigung dieses Wahrscheinlichkeitsschlusses angestellten zahlreichen Versuchen auf Lindemanns Methode der Phosphorabsorption; Phosphor verbindet sich schon bei gewöhnlicher Temperatur innig mit dem Sauerstoffe der Luft und liefert dann zwei im Wasser leicht lösliche Oxydationsprodukte. Zunächst wurden im „Terain" die Luftproben gesammelt, und zwar in eigens hiefür eingerichteten Glasröhrchen von 100 ccm Inhalt, worauf in dem auf möglichst konstanter Temperatur erhaltenen Experimentierraume die Analyse selbst gemacht werden konnte. Aus zahlreichen, durch ganz Bayern verteilten Beobachtungen ergibt sich, dass, wiederum in Volumprozenten, die Differenz zwischen Maximum und Minimum im Walde 0,33 und im Freien 0,28 ausmachte. Ein Bruchteil dieser Differenz fällt noch dem Umstande zur Last, dass Wasser als Sperrflüssigkeit angewandt werden musste, und so kann man mit gutem Rechte sagen: Der Sauerstoffgehalt im Walde ist durchschnittlich derselbe, wie in der freien Atmosphaere. Wenn trotzdem erfahrungsgemäss die Waldluft mit entschiedenem Nutzen für die Gesundheit eingeatmet wird, so liegt dies an dem jene auszeichnenden Fehlen aller und jeder Mikroorganismen.

**) C. Lang und E. Richter haben ermittelt, dass Zeiträume energi-

dachten, sprachen wir auch davon, dass man an gewissen geologischen Kriterien einen Masstab zur Beurteilung des Raumes besässe, über welchen hin sich dereinst Gletscher erstreckten. Da und dort auf der Erde hat man nun mehr oder minder grosse Territorien ausfindig gemacht, welche in einer freilich lange vor Menschengedenken anzunehmenden Zeit vergletschert gewesen sind, und da diese Territorien ihrer überwiegenden Mehrzahl nach eine solche geographische Lage haben, dass unter den obwaltenden klimatischen Verhältnissen eine Eisbedeckung daselbst zu den vollendeten Unmöglichkeiten gehört, so bleibt uns nur übrig, anzunehmen, dass es dereinst eine Eiszeit, eine Periode tief greifender klimatischer Änderung, gegeben habe. Wenn kosmische Ursachen diese Eiszeit herbeigeführt haben, so ist die spätere Wiederkehr einer ähnlichen Eisperiode so gut wie sicher, und es verlohnt sich deshalb wohl, solchen allfallsigen kosmischen Ursachen nachzuspüren.*)

Ein deutscher Mathematiker, namens Rohde, wies zuerst im Jahre 1809 darauf hin, dass es „Jahreszeiten von höherer Ordnung“ gäbe; damit wollte er ausdrücken, dass infolge der Wanderung des Apheliums und infolge der Veränderlichkeit der Erdbahnellipse**) beide Halbkugeln der Erde abwechselnd sehr verschiedenen Erleuchtungs- und Erwärmungszuständen unterworfen seien. Damit hat es nun auch in der That seine Richtigkeit. Die heissen Sommer der Nordhalbkugel treffen zeitlich zusammen mit den milden Wintern der Südhalbkugel und umgekehrt. Gegenwärtig fällt der Sommer jener und der Winter dieser Halbkugel in den von der Sonne entferntesten Punkt der Erdbahn, das sogenannte Aphelium, während dann, wenn die Erde der Sonne am nächsten, im sogenannten Perihelium steht, die Verteilung der Jahreszeiten für die Erdhemisphären die entgegengesetzte ist. 85 000 Jahre vor dem Beginn unserer Zeitrechnung betrug, wie sich aus den Rechnungen von Leverrier und Stockwell folgern lässt, der Unterschied der extremen Jahreszeiten beider Erdhälften, mehr als einen Monat, indem die Sonne (scheinbar) über 36 Tage länger diesseits als jenseits des Aequators verweilte. Wenn man ***) die Intensität der direkten Sonnen-

schen Vorstossens und Schwindens der Alpengletscher auf Perioden starker resp. schwacher Schnee- und Regenfallfrequenz folgen, und dass gleicherweise Perioden besonders niedriger resp. hoher Jahres- und Sommertemperaturen mit ersteren Zeiträumen korrespondieren.

*) Die Geognosie teilt bekanntlich die Erdkruste in Schichten ein, deren Namen teilweise der Reihenfolge ihrer Bildung entsprechen. An das sogenannte Tertiär schliesst sich die modernste aller geologischer Formationen, das Quartär, an, und dieses selbst zerfällt in das ältere Diluvium und in das neuere Alluvium. Der Periode des Diluviums gehört auch die Eiszeit an, deren spätere Stadien nach neueren Ermittlungen, zumal von Penck, wahrscheinlich auch schon den Menschen in die Erscheinung treten sahen.

**) Speziell mit den von uns im Augenblicke zur Erörterung gestellten Fragen beschäftigen sich die folgenden beiden Monographien: F. v. Czerny, Die Veränderlichkeit des Klimas und ihre Ursachen, Wien-Pest-Leipzig 1881, L. Polluge, Klimaänderungen in historischen Zeiten, Berlin 1880. Ein grosser Teil des an letzterem Orte verarbeiteten Stoffes entstammt Th. Fischers vorzüglichen „Studien über das Klima der Mittelmeerländer“, welche als Ergänzungsheft Nr. 58 der „Geogr. Mitteilungen“ von Petermann erschienen sind.

***) Hann-v. Hochstetter-Pokorny, Allgemeine Erdkunde, Leipzig-Prag 1886. S. 110 ff.

strahlung im Aphel = 1 setzt und mit ε die Exzentrizität der direkten Bahnkurve bezeichnet, so ist jene Intensität im Perihel = 1 + 4 ε, und da ε, eine im XIX. Jahrhundert kleine und nur eine minutiöse Abweichung der Ellipse vom Kreise bedingende Grösse, ziemlich grosse Werte annehmen kann, so kann die jährliche Schwankung der Insolationsstärke ebenfalls recht beträchtlich werden. Auf diese astronomischen Wahrheiten begründete Adhémar die nach ihm benannte Theorie der Eiszeiten; um den von der Sonnenwärme Jahrtausende hindurch minder begünstigten Erdpol mussten sich seiner Auffassung gemäss mächtige Eiskalotten bilden, durch deren Aufbau der Schwerpunkt der Erde eine Verschiebung nach der Seite der kälteren Halbkugel hin erfahre, und dadurch wieder sei ein Zuströmen der Gewässer nach eben dieser Seite hin bedingt; von diesem Wasser gefriere ein Teil, verstärke die polare Eishaube und trage so zu immer energischerer Ausgestaltung der Eisperiode jener Halbkugel bei. Da gegen Adhémars Hypothese sich sehr viele unwiderlegliche Gründe geltend machen lassen, worunter der annähernde Synchronismus der Eiszeit-Überbleibsel nördlich und südlich vom Gleicher einer der wichtigsten sein dürfte, so haben Pilar, Schmick, Croll dieselbe in der manigfaltigsten Weise zu modifizieren und mit neueren Erfahrungen in Einklang zu setzen sich bemüht. Am besten ist dies wohl Croll*) in einer unlängst erschienenen Schrift gelungen, in welcher der Nachweis zu erbringen versucht wird, dass durch die Verschiedenartigkeit in der Verteilung von Wasser und Land und vornämlich durch die veränderte Richtung und Mächtigkeit der Meeresströmungen das geleistet werde, was Adhémar durch die Annahme einer direkten Kolossalbildung von Eis leisten lassen wollte.

Es wäre gewagt, die Einwirkung der astronomischen Faktoren gänzlich in abrede stellen zu wollen, allein einigermassen ist der Wunsch, die Eiszeit mehr nur mittelst terrestrischer Vorgänge zu erklären, doch jetzt der berechtigtere, nachdem Woeikows eindringende klimatologische Analyse des Glazialphaenomenes uns die Überzeugung beigebracht hat, dass zu dessen Hervortreten es durchaus keiner exorbitanter Kältegrade bedurfte. Ein Hauptmoment der Vergletscherung, dem man früher nicht gebührend Rechnung getragen, ist die atmosphaerische Feuchtigkeit, denn in Ländern, welche jetzt sehr trocken sind und es nachweislich auch zu Anfang der Quartärzeit waren, gibt es weder heutzutage Gletscher noch hat es, den negativ sprechenden glazialgeologischen Merkmalen zufolge, jemals Gletscher von irgend nennenswerter Ausdehnung gegeben. Das haben v. Richthofen für China, Fr. Schmidt für das Amurgebiet festgestellt. Angesichts des Umstandes, dass für die während der Diluvialperiode von der Übereisung, sei es einer ein — sei es einer mehrmaligen — betroffen gewesenen Erdgegenden die Wasserfülle und damit auch der Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphaere

*) Croll, Climate and Cosmology, Edinburgh 1885. Dazu: Woeikow, Examination of Dr. Croll's Hypothesis on Geologial Climates, Philosophical Magazine, 1886. S. 223 ff. Woeikows positive Beiträge zur Lehre von der Eiszeit findet man im 7. Bande der „Verhandlungen der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin" (S. 151 ff.).

bedeutend grösser war, als später, muss man zugeben, dass eine an sich nicht sehr erhebliche Depression der Mitteltemperatur (um nur wenige Thermometergrade) grossartige Glazialbildungen zur Folge haben konnte und musste. *)

Die zum Beweise einschneidender klimatischer Veränderungen in historischer Zeit angeführten Belege halten nur zum kleineren Teile vor scharfer Kritik stand und sind grossenteils einer auf ganz andere Motive bezugnehmenden Deutung fähig. Man erinnerte beispielsweise daran, dass die Nordgrenze des mitteleuropäischen Weinbaues dereinst mit der Südküste des baltischen Meeres zusammenfiel**), während sie jetzt ganz ungleich südlicher verläuft, man entnahm alten Urkunden Angaben über einstmaligen Wasserreichtum solcher Wasserläufe, welche in der Gegenwart ihr Rinnsal nur noch spärlich erfüllen, man glaubte somit an einer progressiven Wasserverminderung festhalten zu müssen, und man wollte schliesslich wissen, dass da und dort die Erntezeit Verspätungen erfahren habe. Was den ersten Grund anbetrifft, so wohnt ihm gar keine durchschlagende Kraft bei, weil eine verbesserte Geschmacksrichtung und die Möglichkeit, sich besseres Gewächs zu verschaffen, die Auflassung schlechter Weinberge in erster Linie bedingt haben dürften; den zweiten Grund anlangend, stehen Mitteilungen der einen sehr häufig auch Mitteilungen der anderen Art entgegen***), und aus seinen tiefgehenden Untersuchungen über die Kultur empfindlicher Pflanzen am Genfersee sowie über deren Ernte-Termine konnte Dufour nur den Schluss ziehen, dass zur Zeit die Behauptung „Das Klima variiert nicht in erkennbarer Weise“ mehr Wahrscheinlichkeit für sich habe als die entgegengesetzte. Naturgemäss gilt dies nicht für örtliche und partielle Veränderungen, wie sie hauptsächlich mit Waldzerstörung und Wiederbewaldung in ursächlicher Wechselbeziehung stehen. Ersterer Akt wirkt verschlechternd auf das Klima, die Jahreszeiten erhalten eine extremere Temperatur, milde Landregen werden durch Wolkenbrüche abgelöst u. dgl. mehr, während die Aufforstung, welcher von allen Regierungen — vorab der Alpenländer — kaum genug Aufmerksamkeit geschenkt werden kann, dem Klima mehr den insularen Charakter (s. o.) verleiht. Seit dem Anfange dieses Jahrhunderts hat man diesen Sachverhalt begreifen gelernt, und die Anzahl der litterarischen Produkte über den Gegenstand ist eine ungezählte. †)

*) Als Überreste dieser früheren Kontinentalvergletscherung gelten uns heute noch das von A. E. v. Nordenskiöld durchforschte Binneneis Grönlands und die kompakten „paleokrystischen“ Eisschichten, welche Dall in Alaska aufgefunden hat.

**) Es liegen allerdings Zeugnisse aus dem XIV. Jahrhundert für die märchenhaft klingende geschichtliche Wahrheit vor, dass damals der deutsche Orden in Livland und Esthland und mit gerühmtem Erfolge an den Ufern der unteren Weichsel dem Weinbau oblag.

***) Bei Partsch-Neumann (a. a. O., S. 87) wird durch Vergleichung antiker und neuerer Angaben der Beweis für den folgenden Erfahrungssatz gefürt: „In der Schiffbarkeit der perennierenden Flüsse hat sich seit dem Altertum anscheinend keine Änderung vollzogen.“

†) Mit den ersten bestimmten Andeutungen über den Einfluss von Bewaldung und Bodenkultur auf das Klima ist, soweit wir es verfolgen können,

Weitaus am sichersten dünkt uns eine durch Trockenheitszunahme und Ausdehnung der Wüstenlandschaft gekennzeichnete Klimaveränderung durch Th. Fischer für das subtropische Regengebiet (Nordafrika, Nordarabien, Iran) nachgewiesen zu sein. Das Sinken des Seespiegels und das gänzliche Austrocknen mancher Seen in diesen Ländern scheint eine andere Interpretation kaum zuzulassen. Es ist daher sehr zu begrüssen, dass die Schwankungen im Wasserstande der grossen binnenländischen Wasserbehälter Armeniens und Zentralafrikas durch Sieger einer rationellen Erforschung unterworfen wurden, wiewohl wir uns die Thatsache nicht verhehlen, dass beim Mangel direkter Messungen hiebei indirekte Anzeichen eine grosse Rolle spielen und der mühevollen Arbeit einen Teil ihrer Zuverlässigkeit rauben müssen. Sicherer sind gewiss die von Brückner an europäischen Gewässern nachgewiesenen Spiegelschwankungen.

Zum Schlusse muss auch noch des kürzlich aufgetauchten Gedankens Erwähnung geschehen, dass Änderungen im Laufe und in der Stärke der Meeresströmungen auch nach Aufhören der Eiszeit einen Wechsel isularer und kontinentaler Klimate herbeiführe. Der Norweger Blytt hat auf diese Hypothese zurückgegriffen, um gewisse Anomalien in der Pflanzenbesiedlung Skandinaviens zu erklären, wie z. B. dass die Flora um manche Fjorde in einem milderen Klima, als es heute herrscht, ihre Einwanderung vollzogen hat, dass die Torfmoore eigenartige Wechsellagerungen erkennen lassen, u. dgl. mehr. Blytt hat in anerkannten Botanikern, wie Drude und Peter, Anhänger und Verteidiger seiner Auffassung, in C. Koenig aber auch einen entschiedenen Gegner gefunden; wir persönlich müssen zugeben, dass Veränderungen in der Mächtigkeit des Golfstromes allerdings nicht ohne Einfluss auf das Klima Nordeuropas bleiben könnten, allein es will uns doch nicht unbedenklich erscheinen, generellen geophysikalischen Erscheinungen durch blossen Rückschluss aus pflanzengeographischen Vorkommnissen ein Existenzrecht zu verleihen. Auch der Kausalzusammenhang ist nicht hinlänglich geklärt; es ist nicht bewiesen, dass im Sinne Blytts der Strom dann stärker fliesst, wenn der Winter in die Sonnenfernen fällt, und dann einschwindet und somit an transportiertem Wärmevorrate einbüsst, wenn Winter und Sonnennähe zusammenfallen.

Viertes Hauptstück.

Spezielle klimatische Beschreibung der Erdoberfläche.

Was wir unter Klima zu verstehen haben, welche Einflüsse das Klima eines Ortes zu dem machen, als welches es sich unseren Instrumenten und Untersuchungsmethoden zu erkennen gibt, wie endlich bei

der vielgereiste Engländer Williamson hervorgetreten; vgl. Rappold, Brevis ex positio causarum praecipuarum, a quibus successiva climatum mutatio pendet, Stuttgart 1795. In diesem Jahrhundert begannen dann Moreau de Jonnes und W. Pfeil mit planmässigeren Untersuchungen vorzugehen.

gründlichem Wechsel dieser Einwirkungen das Klima selbst ein ganz anderes Gepräge erhalten kann, — über all das hat uns das dritte Hauptstück aufgeklärt. Was uns in dem vierten zu beschäftigen hat, ist die klimatographische Beschreibung der Erde, aus welcher wir ersehen, wie im Einzelfalle das wirkliche Klima vom geometrischen abweicht. Das letztere aber ist es, von welchem wir doch immer auszugehen uns genötigt sehen: wir werden zunächst für jede der solaren Hauptzonen den Klimacharakter nach grossen Zügen schildern und dann erst auf die örtlichen oder regionalen Besonderheiten eingehen. Das Werk von Hann wird auch hiebei wieder unsere wesentlichste Richtschnur abgeben.

Ia. Allgemeine Charakteristik des Tropenklimas.*)

Der von den beiden Wendekreisen begrenzte Gürtel, der ungefähr 40% des Areales der ganzen Erdoberfläche einnimmt, zeichnet sich klimatologisch durch grosse Beständigkeit und regelmässige Periodizität der atmosphärischen Erscheinungen aus, wie denn auch in dieser Zone die Erkenntnis der Gesetzmässigkeit in der Meteorologie ihren Anfang genommen hat. Die unperiodischen Erscheinungen, so massgebend für Klima und Wetter mittlerer Breiten, machen sich unter den Tropen nur sehr wenig bemerklich. Auch der Gegensatz der Jahreszeiten, nach welchem der Europäer sein ganzes Leben einzurichten gewohnt ist, verliert seine Bedeutung, die Übergangszeiten werden kürzer oder verschwinden gänzlich; an die Stelle des Gegensatzes warm und kalt tritt der Gegensatz trocken und feucht. Die Isothermen stehen durchaus weit von einander ab, der horizontale Temperaturgradient ist durchweg klein, und ein gleiches gilt im allgemeinen von dem isobarischen Gradienten. Grössere Temperaturschwankungen als bis zu 5° kommen selbst im Inneren der Kontinente nur ganz ausnahmsweise vor; Tages- und Jahresamplitude der Wärme bleiben annähernd gleich gross, und erst gegen die Wendekreise hin nehmen die Kurven des täglichen und jährlichen Temperaturganges energischere Formen an. Mit dieser Gleichmässigkeit der zeitlichen Wärmeverteilung wird übrigens auch die Empfindlichkeit der Organe unseres Körpers gegen Veränderungen der Temperatur erhöht; der eingewanderte Europäer friert in Nächten, während deren er daheim mit Behagen der erfrischenden Luft sich aussetzen würde. Sehr zu bemerken ist auch die physiologische Wirkung der Sonnenstrahlung, welche das Verweilen unter freiem Himmel ohne genügenden Kopf- und Nackenschutz zu einer sehr bedenklichen Sache macht.

Ozeanischer Natur ist das tropische Klima auch in den Binnenländern, wie die Verteilung von Land und Wasser um den Aequator herum schon beim ersten Blicke auf die Karte annehmen lässt. Der Gang des Barometers ist ein überaus regelmässiger, selbst die nicht seltenen Wärmegewitter ändern daran nichts, und in der brasilianischen Provinz Minas Geraes soll, wie Gorceix berichtet, die Auf- und Abbewegung des Quecksilbers im Rohre mit der Pünktlichkeit einer Uhr

*) Hann, S. 377 ff.

erfolgen. Die Eigenschaft, ein „Wetterglas“ zu sein, ist dem Barometer von denkenden Meteorologen schon von je her abgesprochen worden, allein zwischen den Wendekreisen verliert dieses Instrument auch die ihm sonst wohl noch anhaftende Feinfühligkeit für bevorstehende Änderungen der Witterung. Die Luftströmungen erfolgen mit grosser Beständigkeit aus Osten (Nord- und Südost je nach der Halbkugel); diese Passatwinde und ihre Ursachen haben wir bereits ebenso kennen gelernt, wie die über dem indischen Meere die Passate ersetzenden Monsune. An den Meeresküsten drängt das Wechselspiel der Land- und Seebrise nicht selten die Passate in den Hintergrund, was besonders für die ganze Guinea-Küste gilt.

Sowie der Passat zu wehen aufhört, resp. sowie die zwischen der Umkehr der Monsunwinde liegende Zwischenzeit der Ruhe anbricht, setzt die gefürchtete Regenzeit der Tropen ein. Gewöhnlich — nahe dem Meere viel entschiedener als weiter drinnen im Lande — fällt dieser Moment zusammen mit dem höchsten Sonnenstande, durch welchen eben eine besonders kräftige Entwicklung des mit Feuchtigkeit beladenen aufsteigenden Luftstromes bewirkt wird. In dessen Gefolge entsteht häufig eine zyklonale Luftbewegung, welche in den Küstengebieten einen grossartigeren Charakter bethätigt, im Binnenlande dagegen wohl mehr als Aggregat vieler kleinerer Zyklonen anzusehen ist. Für die Länder am Tsade-See und für das nördliche Hindostan ist es gewiss, dass immer eine neue kleine Depression sich an eine ihr vorausgegangene und wieder verschwundene anreiht. Bei den eigentlichen Wärmegewittern der dem Aequator nächst benachbarten Erdstriche ist überhaupt, wie sich schon aus dem über die Grösse der Gradienten ergibt, keine ausgesprochen zyklonale Bewegung vorhanden, vielmehr stagniert rings um den aufsteigenden Luftstrom die übrige Atmosphäre. Vom rein theoretischen Standpunkte aus wird man erwarten dürfen, dass auf jeden tropischen Ort, da zweimal im Jahre die Sonne in dessen Zenit steht, zwei jährliche Regenzeiten entfallen, und die aequatorialen Teile Afrikas und Südamerikas haben denn auch wirklich zum grossen Teile solch doppelte Regenperiode. Anderwärts verwischt sich dieselbe insofern, als nur während der Regenzeit ein starkes Nachlassen, jedoch kein völliges Aufhören des Regenfalles zu konstatieren ist. Ein zusammenhängender Erdgürtel mit doppelter Periodizität der Regengüsse existiert nicht. Bei tage pflegt mehr Regen zu fallen als bei nacht, und dies kann nicht überraschen, da wir ja die von der Sonnenwärme bewirkte Luftauflockerung als nächste Ursache der Regenbildung kennen gelernt haben; nur in jenen Gegenden, wo die Ausscheidung des Wasserdampfes zunächst im Gefolge des Aufsteigens der Luftströme an der Luvseite höherer Gebirge sich einstellt, scheint die Tendenz zu einem nächtlichen Maximum vorzuherrschen.*) Die relative Ungefährlichkeit der von Wärmegewittern ausgelösten elektrischen Entladungen unter den Tropen gegenüber den an Wirbelgewitter gebundenen Blitzen höherer Breiten ist im zweiten Hauptstücke erörtert worden.**)

*) Hann, S. 401.

**) Am oberen Nil übrigens sind nach Emin Pascha zündende Blitze nichts ungewöhnliches.

Sowohl die absolute wie die relative Luftfeuchtigkeit erreicht unter den Tropen immer einen hohen Stand; in den kontinentalen Gebieten zwar wechselt die relative Feuchtigkeit stärker, je nachdem der Passat kräftig weht oder die Regenzeit im gange ist; der thatsächliche Wasserdampfgehalt der Atmosphäre aber ist ununterbrochen ein nach unseren Begriffen abnorm grosser. Äusserst extrem ist der Gang der Bewölkung: in der trockenen Jahreszeit lässt es der Passat nicht zu irgend ausgiebiger Wolkenbildung kommen, während zu anderen Zeiten — in Westafrika trifft die Periode stärkster Trübung des Himmels nicht auf den Höhepunkt der nassen Jahreszeit — finstere Wolkenmassen das Firmament verhüllen. Je insularer die Lage eines Ortes, desto geringer ist naturgemäss auch die Anzahl der wolkenfreien Tage. Gewöhnlich macht man sich von dem angeblich tiefblauen Himmel der Tropenregion eine falsche Vorstellung, indem man die aus persönlicher Anwesenheit in Italien oder Griechenland zurückgebliebenen Erinnerungen mit Hilfe der Phantasie noch lebhafter auszugestalten sucht. In Wirklichkeit ist der Tropenhimmel, wenigstens nahe dem Meeresgestade, selten eigentlich blau, die zahllosen in der Luft verteilten Wasserdampfbläschen und Wasserkügelchen verleihen der Luft (vgl. den Anhang über meteorologische Optik) eine weissliche Färbung, und im Binnenlande wirken die nie aufhörenden, zufällig oder absichtlich entstandenen Grasbrände in ähnlicher Weise verdüsternd auf die an sich klarere Atmosphaere ein, wie dies der früher besprochene Moorrauch Niederdeutschlands thut. Ein ausgezeichneter Landschaftsmaler war der Ansicht, man bedürfe der Farbe Blau gar nicht, um durch Mischung auf der Palette den charakteristischen Ton der Tropenluft zu erhalten. Weil in Europa ein heller, strahlender Himmel zugleich auch immer ein blauer ist, verwechseln wir nur zu leicht beide Eigenschaften und können uns, ohne Autopsie, nur schwer vorstellen, dass anderwärts die Sonne heiss und strahlend ihre Strahlen niedersendet, ohne sich zugleich deutlich vom azurblauen Himmelsgewölbe abzuheben.

Eine Eigenheit des tropischen Klimas ist fernerhin noch die kurze Dauer der Dämmerung. Am Aequator selbst ist bekanntlich Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch von absolut gleicher Dauer, und nirgendwo zwischen den Wendekreisen ist die Differenz zwischen dem Tag- und Nachtbogen der Sonne eine irgend beträchtliche. Damit ist denn von selbst gesagt, dass die Dämmerung gering sein muss, denn dieselbe hält unter sonst gleichen Umständen umso länger an, je kleiner der Winkel ist, unter welchen der von der Sonne durchlaufene Tagesparallel den Horizont schneidet. Doch ist es zu viel gesagt, wenn einzelne Reisende unter dem Eindrucke des Ungewohnten behaupten, mit Einem Schlage werde man aus dem Tage in die Nacht versetzt. Ein so gründlicher Kenner der Tropen wie Pechuël-Loesche versichert uns im Gegenteil auf grund sorgfältiger Zeitbestimmungen, dass selbst am Aequator die Übergangszeit, während deren man nach Sonnenuntergang noch ohne Anstrengung im Freien zu lesen imstande ist, niemals unter zwanzig Minuten betrage. Die vollständige Dunkelheit tritt etwa nach fünfundzwanzig Minuten ein, und diese Zeit wächst an, je weiter man polwärts fortschreitet.

Die in den letzten Jahren ziemlich rasch und unvorbereitet hervorgetretene Hinneigung binnenländischer Völker zu überseeischen Unternehmungen und Ansiedlungen legt dem Klimatologen die Verpflichtung nahe, sorgfältig die Bedingungen zu ergründen, unter welchen der in gemässigter Zone Geborene in der heissen Zone sich aufzuhalten und eventuell eine neue Heimat zu begründen vermag. Mit Hirsch, dem Altmeister der geographischen Krankheitslehre,*) unterscheiden wir dabei zwischen meteorologischer und pathologischer Akklimatisation, indem wir zugleich die trefflichen Ausführungen Virchows über die Möglichkeit der Akklimatisation an sich beiziehen.**)

Die meteorologische Anpassung besteht darin, dass der Eingewanderte die Eigenart des Tropenklimas, soweit diese sich eben mit Rücksicht auf Temperatur, Feuchtigkeit u. s. w. als eine ungünstige offenbart, gewöhnen lernt. Diese Gewöhnung gelingt im allgemeinen einem jedem, der über einen gesunden Körper zu verfügen und gleichzeitig den ernsten Willen hat, sich durch die meist nicht geringen Unannehmlichkeiten nicht zurückschrecken zu lassen; es liegt am Tage, dass solche Europäer, deren heimisches Klima von hause aus verwandschaftliche Züge mit dem tropischen aufweist, geschickter zur Überwindung der rein klimatischen Hindernisse und damit auch im aktiven Sinne kolonisationsfähiger sind; am geeignetsten zeigen sich die Italiener und unter diesen wieder besonders die Malteser, etwas geringer, aber immer noch beträchtlich ist die Akkomodationsfähigkeit der Bewohner der iberischen Halbinsel, und diese stehen wieder um ein namhaftes den Franzosen voran. Von den Germanen andererseits akklimatisieren sich Engländer und Niederländer leichter als die Norddeutschen, diese wieder leichter als Süddeutsche und Skandinavier, weil jene ein zu trockenes, diese ein zu kaltes Klima bewohnen, während die starke Feuchtigkeit warmer Insel- und Küstenklimate besser auf die warme Zone vorbereiten hilft. Aber auch der Brite und Holländer ist nicht so leicht unter gemeinsame Gesichtspunkte zu bringen, weil, wie Woeikow richtig bemerkt, die Verschiedenheit der äusseren Lebenshaltung, zumal bezüglich des Gewöhntseins an starke Getränke, den Leib auch in sehr verschiedener Weise für die Ertragung klimatischer Strapazen praedisponiert. Zu diesen letzteren gehört es hervorragend, dass man nur schwer Schutz gegen die direkte Sonnenstrahlung findet, vielmehr leicht der unter dem Namen Sonnenstich***) bekannten

*) Das erwähnte Grenzgebiet der Heil- und Erdkunde, die Abhängigkeit der Krankheitsformen von Ort und Klima, war den geschickten Ärzten des Altertums nicht entgangen, schon Hippokrates' „Aphorismen“ enthalten manche gute Bemerkung darüber. Mit grosser Sachkunde charakterisiert der Römer Celsus die menschlichen Leiden, welche südlichen Ländern eigentümlich sind und nördlichen fehlen.

**) Die Ansichten von Hirsch über Akklimatisation sind niedergelegt in den Verhandlungen der Berliner anthropologischen Gesellschaft (1886. S. 155 ff.), diejenigen von Virchow ebenda (1885. S. 202 ff.). Der berühmte Pathologe betont hauptsächlich die Unmöglichkeit der regulären Fortpflanzung weisser Rassen; Unfruchtbarkeit und Kindersterblichkeit sind Übel, von deren erfolgreicher Bekämpfung noch nichts verlautet hat.

***) Hann, S. 381. Der Sonnenstich zieht eine fundamentale Störung des Blutkreislaufes nach sich, welche ohne rasches ärztliches Eingreifen zu Schlaganfall und Tod führt.

Erkrankung anheimfällt (s. o.), hierher gehört der, wie schon erwähnt, unter den Tropen viel fühlbarere Gegensatz zwischen Tageshitze und Nachtkühle, hierher endlich der von vielen zu wenig gewürdigte Nachteil von Treibhaus- oder Tunnelluft. Der kräftige Mensch kann bei trockener Luft unglaublich hohe Temperaturen ohne irgendwelche Schädigung seines Gesundheitszustandes aushalten*), wogegen ihm auch die kleinste Temperaturerhöhung lästig fällt, sobald die Atmosphaere stark mit Wasserdampf beladen ist. Dass aber unter den Tropen alle Voraussetzungen für das Vorwalten solch heisser, feuchter Luft gegeben sind, ist uns durch unsere allgemeinen Betrachtungen bereits zur Gewissheit geworden.

Wer sich die Bedeutung der eingangs aufgestellten Definitionen nicht gehörig gegenwärtig hält, der könnte auf die Meinung verfallen, wir seien in den letzten Zeilen bereits in das pathologische Gebiet eingetreten, dem ist jedoch keineswegs so. Freilich können die zuletzt berührten Qualitäten des Tropenklimas auch zu akuten Krankheiten Anlass geben, sie müssen dies aber nicht mit Naturnotwendigkeit thun, vielmehr kann der Emigrant bei geeigneten Vorsichtsmassregeln ihre schädlichen Einflüsse abschwächen und wohl auch ganz vermeiden. Ganz anders steht es mit den im Tropenklima endemischen Seuchen. Wäre eine pathologische Akklimatisation in den von diesen beherrschten Gegenden möglich, so würde dies heissen: der Europäer gewinnt, nachdem er einige Anfälle der Krankheiten überstanden, eine gewisse Immunität, welche jeden folgenden Angriff ihn leichter als die vorhergehenden überwinden lässt. So verhält es sich nun leider in Wirklichkeit nicht, im Gegenteile sinkt mit jedem auch nur leichteren Unwohlsein die Widerstandsfähigkeit des menschlichen Organismus, und für den weitaus überwiegenden Teil der Tropenregion ist die Möglichkeit der pathologischen Anpassung selbst für den meteorologisch akklimatisierten Abkömmling der gemässigten Breiten nicht vorhanden. Eine kurze Übersicht über die wichtigsten Krankheitsbilder, welche sich dem Arzte unter dem Aequator und zu dessen beiden Seiten als die gewöhnlichen darbieten, soll, da die Klimatologie bei der Erforschung der Krankheitskeime mit in erster Reihe beteiligt ist, an diesem Orte nicht fehlen.**)

Weitaus die schlimmste und unglücklicherweise auch verbreitetste Feindin der menschlichen Gesundheit ist die Malaria***), das ein-

*) Die bekannten Naturforscher Banks und Solander, Cooks Begleiter auf dessen Weltreisen, bewiesen obiges am eigenen Leibe, indem sie die Heizung des Zimmers, in welchem sie sich mit voller Bekleidung befanden, derart steigern liessen, dass die Uhrketten zu heiss wurden, um berührt werden zu können. Ebenso weiss man, dass das „russische“ Dampfbad für zu kongestiven Zuständen geneigte Personen sehr gefährlich werden kann, das Heissluftbad („römisch-irisches“) von solchen Übelständen aber befreit ist.

**) Die im folgenden gegebenen Aufschlüsse stammen teilweise aus den Referaten, welche auf Veranlassung der für die Naturforscherversammlungen neu geschaffenen Sektion für Tropenhygiene von verschiedenen ortskundigen Männern eingeholt und in den Sitzungsberichten der Berliner und Wiesbadener Versammlung veröffentlicht wurden; vgl. auch das neunzehnte Heft des Jahrganges 1886 der „D. Kolonialzeitung“.

***) Das Wort ist italienisch: mal’ aria = schlechte Luft. Italien wird

heimische Klimafieber der Tropen. Die neueren Untersuchungen über Infektionskrankheiten lassen keinen Zweifel darüber, dass auch die Malaria durch das Eindringen sogenannter Bakterien, mikroskopisch kleiner Spaltpilze in den Körper entsteht, wenn auch eine allgemein anerkannte Reinzüchtung dieser Mikroorganismen für die Malaria bislang noch nicht erbracht worden zu sein scheint. Dieselbe tritt anfänglich in Form des auch unserer Heimath nicht ganz unbekannten Sumpf- oder Wechselfiebers auf und wird in den ersten Stadien durch starke Dosen des bekannten Fiebermittels Chinin, die nur leider selbst wieder die Verdauungsaktion ungünstig beeinflussen, mit Erfolg bekämpft. Häufigere Rezidive aber verstärken die Macht der Krankheit, und in vielen Fällen erscheint sie dann in der mit Recht berüchtigten Gestalt des perniziösen Fiebers, welchem so mancher verdienstvolle Entdeckungsreisende — es genügt, an die Namen Pogge, Flegel und Nachtigal zu erinnern — zum Opfer gefallen ist. Im tropischen Afrika ist die Malaria allenthalben zu Hause, doch wirkt sie verheerender an der West- als an der Ostküste. Nicht alle Jahreszeiten sind gleich verderblich, am meisten hat man sich dann in acht zu nehmen, wenn der Boden nach Beendigung der Regenzeit auszutrocknen beginnt, weil da offenbar die bisher im Erdreich schlummernden Mikroben in die Atmosphäre und aus dieser in die blutbereitenden Organe des Menschen übergehen. Auch stagnierende Gewässer repräsentieren jedesmal einen Krankheitsheerd; die Miasmen, welche während der Herrschaft der Landbrise an der Loanda-Küste „den vom Regen aufgerührten Lagunen, den grasigen Sümpfen und den Schlammbetten der Rhizophorendickungen entsteigen,“ werden von Pechuël-Loesche als wahrhaft entsetzlich bezeichnet. Dass ein Europäer bei einem ein paar Tage dauernden Aufenthalte auf dem Festlande — auf dem Meere werden die gefährlichen Agentien ganz natürlich in ihrer Kraft geschwächt — vom Fieber verschont bliebe, gehört zu den unerhörten Dingen. Während also im tropischen Afrika nur von verschiedenen Graden der Fiebergefahr die Rede sein kann,*) wogegen allerdings ein Zurücktreten der übrigen, mehr einen europaeischen Charakter an sich tragenden Krankheiten konstatiert werden muss,**) gibt es in den vom indischen und pazifischen Ozeane bespülten Tropenländern einzelne Gebiete, in welchen die Malaria wenigstens nicht mit so suveräner Gewalt ihre Herrschaft bethätigt, wie in dem dunkeln Erdteile. Niederländisch-Indien z. B. ist, als ganzes betrachtet, einer der wenigst

selbst, obgleich es nur eine subtropische Lage hat, von dieser Pest der Neuzeit schwer heimgesucht; nur fünf Praefekturen des Königreichs können als absolut Malaria-frei gelten.

*) Nach M. Buchner hat in unserer Kolonie Kamerun ein junger gesunder Deutscher die in den folgenden Verhältniszahlen ausgedrückten sanitären Chancen: 5 % erliegen dem Klimafieber, 10 % werden von diesem zu beschleunigtem Verlassen des Landes gezwungen, 20 % tragen einen dauernden Schaden an ihrer Gesundheit davon, 65 % dürfen hoffen, ohne nachhaltige Schwächung ihrer Kräfte in die Heimat zurückzukehren — auch diese natürlich nur dann, wenn der Aufenthalt in Afrika nicht zu lange gedauert hat.

**) Ausser der Malaria treten nur Dysenterie und Blattern häufiger auf; dazu kommen noch gewisse rein autochthone Haut- und Ausschlagskrankheiten, wie z. B. der auf Parasiten zurückzuführende „rote Hund“ in Nieder-Guinea.

gesunden Teile unserer Erde,*) allein auf Sumatra gibt es, nur wenige Grade vom Aequator entfernt, einzelne Distrikte, in denen Deutsche Jahrzehnte lang ein ganz erträgliches Dasein zu führen vermögen.**) Auch in dem tropischen Polynesien soll es relativ fieberfreie Archipele geben, die deutschen Schutzgebiete sind aber unglücklicherweise diesen, den von Schellong gesammelten Erfahrungen zufolge, nicht beizuzählen, wenn auch letaler Ausgang in den von steter Seebrise überwehten Küstengebieten des stillen Ozeanes nicht so häufig ist, wie etwa in der mörderischen Schwüle des Kongothales. In Zentral- und im nördlichen Teile von Südamerika beherrscht die Malaria völlig die Niederungen am Meere,***) während die Hochebenen, zumal diejenige von Costarica, auch dem Nordländer keinen unangenehmen Aufenthalt bieten. Der klimatische Grund hiefür wird später noch klar gestellt werden.

Die Mittel, welche man zur Fieber-Prophylaxe anwendet, sind wesentlich diaetetischer Natur, die eigentliche Therapie ist und bleibt auf ihre Chinindosen angewiesen. Hauptsächlich während der Nacht hat man Vorsicht anzuwenden, denn mit der zu dieser Zeit erhöhten Ausstrahlung des Erdbodens scheint auch eine energischere Aushauchung von Miasmen hand in hand zu gehen, und es darf deshalb auch niemals die Schlafstätte ganz zu ebener Erde sich befinden. Bei der Anlage stabilerer Wohnplätze hat man vor allem auf die herrschenden Windrichtungen, d. h. darauf bedacht zu nehmen, dass die zugeführte Luft nicht vorher über Sümpfe und träge Gewässer gestrichen ist. Mit der Pflanzung von Bäumen, welche als Luft-verbessernd gelten,†) will man neuerdings in Italien und auch in der portugiesischen Kolonie Mozambique recht gute Erfahrungen gemacht haben. Die Höhenlage eines Ortes hat keinen ausschlaggebenden Einfluss auf das Klimafieber,

*) Die Insel Java ist gebirgig, allein die Malaria verfolgt den Fremdling bis auf die Gipfel der Berge. Zudem herrscht dortselbst noch eine spezifische Krankheit, eine unter dem Namen „Aphthae tropicae" bekannte Austrocknung der Schleimhäute, welche durch das Verweilen in dünnerer Luft nur noch verschlimmert wird. Junghuhns Beschreibung des „schlechten Monsuns" — so heisst, im Gegensatz zum trockenen „guten Monsun", die nasse Jahreszeit — entwirft ein Schauder erregendes Bild von den Unannehmlichkeiten, welche der durch den Regen an das Haus gefesselte Einwohner selbst im Inneren seiner, in eine Art von Aquarium verwandelten Wohnung zu erdulden hat.

**) Nach Paster gilt obiges zunächst für die Residentschaften Deli und Padang, obwohl auch dort in den schlecht kultivierten Niederungen die Malaria unaufhörlich grassiert. Gefährlich aber sei das Klima eigentlich nur für Nerven- und Herzleidende.

***) Die Form des Klimafiebers, welche längs der Küsten des karaibischen Meeres endemisch ist, gehört zu den schlimmsten, die es überhaupt gibt. Es ist das sogenannte gelbe Fieber — von den Eingeborenen viel bezeichnender „vomito nero" genannt —; diese rasch zum Tode führende Krankheit, über deren Wesen zuerst durch die bei Kaiser Maximilians mexikanischer Expedition beteiligten deutschen Ärzte (zumal Dr. Schmidtlein) einiges Licht verbreitet wurde, stammt eigentlich von den Antillen und wird von da in die vornämlich von ihr betroffenen Küstenplätze, Veracruz und Campeche, immer aufs neue eingeschleppt. Merkwürdigerweise unterliegen dem gelben Fieber die Reste der eingesessenen Bevölkerung noch mehr als die Einwanderer aus der Union und aus Europa.

†) Als solche Bäume sind, zumal von Algier aus, Eucalyptus globulus und Eucalyptus amygdalina empfohlen worden.

und es ist aus diesem Grunde bei der Begründung der in den letzten Jahren viel besprochenen klimatischen Sanatorien auf deren Erhebung über dem Meeresspiegel keinesfalls das Hauptgewicht zu legen. *)

Mit dieser Abschweifung auf das Gebiet der geographischen Nosologie zum Ende gekommen, treten wir nunmehr in die Besprechung derjenigen Punkte ein, in denen sich, bei sonst gemeinsamem Charakter, die einzelnen Tropenländer klimatisch von einander unterscheiden.

Ib. Detail-Klimatographie der Tropenzone.

Wir beginnen mit Afrika, als mit dem zur Zeit im Vordergrunde des öffentlichen Interesses stehenden Kontinente, und treten von hier aus unsere Wanderung in west-östlicher Richtung rund um die Erde herum an. Das ganze Afrika, noch über seine eigentlich tropischen Teile hinaus, ist ein Typus für die regelmässigen Passatregen, welche in ihrem Eintritte vom Stande der Sonne abhängig sind. Jenseits der Wendekreise breiten sich die fast absolut wasserlosen Wüsten aus, im Süden die Kalahari, deren Naturcharakter uns die Untersuchungen von Reiter erschlossen haben, im Norden die Sahara nebst der libyschen Wüste. Der aequatoriale Regengürtel fällt mit dem hin- und herwandernden Kahnengürtel zusammen,**) und zwar ist die Symmetrie zwischen der nördlichen und südlichen Hälfte des durchwanderten Gebietes eine nahezu vollständige. Auf dem atlantischen Ozean besitzt der Regengürtel eine geringere meridionale Ausdehnung als auf dem Festlande. Die ozeanischen Inseln unseres Gebietes haben eine sehr niedrige Mitteltemperatur und danken dies den sie berührenden Driftströmungen. Für Senegambien und Sierra Leone liegen gute Nachrichten von Borius vor; dort zerfällt das Jahr sehr ausgesprochen in eine trockene und nasse Zeit („saison mauvaise"). Die französische Station Kita, 200 Meilen landeinwärts von der Küste, kann bereits eine gewisse Abnahme des Regenfalles konstatieren; von den 180 theoretisch auf die Regenzeit entfallenden Tagen sind nur etwa 100 im Mittel wirkliche Regentage. Natürlich sind im Norden die Niederschläge minder häufig und ergiebig, auch ihr Maximum erscheint vom Juli in den August verschoben. In Summa ist das Klima am Senegal so unerquicklich wie möglich. Nicht besser steht es in dem südlich angrenzenden Freistaate Liberia, von dessen Verhältnissen wir durch Büttikofer***) genauer unterrichtet sind. Hier sind die beiden Hauptjahreszeiten von einander durch eine kurze Übergangsperiode geschieden, während deren heftige Gewitter an der Tagesordnung sind. Während der ersten Hälfte der Trockenzeit weht sehr empfindlich der

*) Die Frage der Sanatorien ist noch gänzlich in der Schwebe; England hat mit den für seine Garnisonen auf der ungesunden Insel Zypern angelegten Höhenkurorten entschieden Glück gehabt, der Kongostaat hat mit seinen Experimenten dieser Art ebenso entschiedenes Unglück. Ganz ein anderes ist es selbstverständlich, wenn der in Aussicht genommene Luftkurort zugleich einer anderen — etwa der subtropischen — Zone angehört; in diesem Falle sind die Vorbedingungen sehr günstige. In diese Kategorie gehört das mit Recht geschätzte Darjiling am Fusse des Kansinjingha im Himálaya.

**) Hann, S. 240.

***) Vgl. die Zeitschrift „Globus", 46. Band. Nr. 3.

kalte Landwind Harmattan, Januar und Februar entbehren der Niederschläge vollständig. Die höchste Temperatur, welche Büttikofer beobachtete, war (in der Sonne) 46° und auch bei Abwesenheit der Sonne fällt sie nur selten unter 25°, so dass die Wärme immer drückend bleibt. Wieder südlich fortschreitend, gelangen wir zu dem Golfe von Guinea, dessen meteorologische Eigentümlichkeiten schon seit einem Jahrhundert studiert werden; für Gabun hat Soyaux, für die Goldküste hat Riggenbach nähere Mitteilungen gemacht. Im Durchschnitte trägt das Klima Ober-Guineas einen sehr regelmässigen Charakter, die Regenzeiten sind doppelt, die Windrichtungen sind vorherrschend südwestlich, wenn nicht der schon erwähnte, aus Osten kommende Harmattan, der hier gewöhnlich viel Staub mitführt, sein Regiment geltend macht. So deutlich dieser relativ kühle Wind aber der menschlichen Haut sein Wehen bemerklich zu machen versteht, so kann er doch den Mittelwert der Temperatur nicht beeinflussen. An der Loango-Küste kann man das Jahr nach Pechuël-Loesche und v. Danckelman ungesucht in eine gewitterfreie und in eine gewitterreiche Zeit zerlegen, weiter im Inlande nimmt die Menge der Niederschläge zu.

Das Klima der Ostküste ist von demjenigen der Westküste Afrikas sehr verschieden, es ist noch viel heisser, weil hier die mildernde Einwirkung polarer Meeresströmungen fortfällt. Die Passate können in dieser dem Monsungebiete benachbarten Region nicht mehr zu voller Entfaltung gelangen; während einer Jahreshälfte überwiegt die Herrschaft des Passat-, während der anderen die des Monsunstromes. Wohl die grösste Hitze hat der südliche Teil des roten Meeres, die Babelmandeb-Strasse und die Danakilenküste auszuhalten*), das Hochland Abessynien, welches sich deutlich nach drei vegetativen und thermalen Höhenzonen gliedert, partipiziert in der untersten derselben an dem hochtropischen Klima des Küstenlandes, während die mittlere („Woina Deka“) gemässigt, die oberste sogar kühl genannt werden darf. Äusserst gering ist sowohl die tägliche als auch die jährliche Wärmeschwankung auf der Insel Sansibar, doch ist immerhin ihr Klima nicht so schlimm, wie dasjenige des benachbarten Festlandrandes, ja sogar nach Robb**) besser als sein Ruf — was zunächst noch nicht viel besagen will. Von dem deutschen Ostafrika ist im ganzen noch wenig bekannt, doch war v. Danckelman, ein unermüdlicher Förderer der Tropen-Meteorologie, in der Lage, aus den Aufzeichnungen des bekannten Reisenden P. Reichard manche Anhaltspunkte zu gewinnen. Charakteristisch für das Land zwischen der Sansibar-Küste und dem Tanganijka-See ist der dunstige Horizont, die für Afrika ungewöhnliche Trockenheit der Luft

*) Der erwähnte Umstand legt mit einem male die ganze Unbesonnenheit klar, welche Italien durch die Annexion der handelspolitisch wenig wichtigen Mausefalle von Massauah beging. Wenn es nicht gelingt, durch Eroberung oder Vertrag die bereits zur zweiten Höhenschicht von Habesch gehörige Hochfläche von Keren und mit ihr die Möglichkeit zu rascher Ablösung der in der Hafenstadt nahezu verschmachtenden Truppen zu gewinnen, so ist der italienischen Kolonialpolitik nur ein sehr ungünstiges Prognostikon zu stellen.

**) Auch eine genaue Kennerin des Landes, Frau Ruete, hat sich im Sinne Robbs vernehmen lassen.

in den Monaten Juni bis November und das Wehen sturmartiger Winde im Juni und Juli, durch welche es den Eingebornen unmöglich gemacht wird, um die genannte Zeit jenen See mit ihren gebrechlichen Kanoes zu befahren. Was die Inseln anbelangt, so hat Madagaskar seine ausgesprochene Regenzeit, von welcher die beiden Längsseiten dieses „sechsten Kontinentes“ jedoch nicht gleichmässig bedacht werden, vielmehr trägt die Westseite dem Südost-Passat gegenüber sehr augenfällig den Stempel von Lee. Die Comoren haben eine doppelte Regenperiode, eine grössere und eine kleinere, auch auf den Seychellen tritt ein doppeltes Maximum des Regenfalles hervor: im Januar und Mai. Weiter südlich, auf den Mascarenen, welche sich seit geraumer Zeit eines geregelten Beobachtungsdienstes erfreuen, hat die doppelte Periode bereits wieder der einfachen platz gemacht, und die Insel Mauritius würde sogar ein ganz angenehmes Klima haben, würde sie nicht so häufig durch die ihr eigentümlichen Orkane, deren Verlauf uns Meldrums Studien kennen lehrten, verheerend heimgesucht.

Aus dem inneren Afrika liegen mehr nur gelegentliche Angaben über Witterung und Klima, wenn auch von äusserst vertrauenswürdiger Seite, als genaue Beobachtungsreihen vor, unser Wissen ist also nur ein ganz aphoristisches. Relativ gut bekannt sind, dank der Mühewaltung des trefflichen Emin Pascha (Dr. Schnitzer) die Verhältnisse der aegyptischen Aequatorialprovinz. Hier herrscht sehr hohe Sommertemperatur verbunden mit starker täglicher Wärmeschwankung und kalten Nächten, während der Regenzeit gelangt die Luft bis zur Sättigung mit Wasserdampf. Am Tsade-Sumpf haben Männer wie Denham und Nachtigal beobachtet; auch hier, wo der Wind fast ununterbrochen aus Osten weht, ist die tägliche Temperaturoszillation viel grösser als im Küstengebiete. Die nördlichsten Ausläufer der Tropenregen erreichen Oberaegypten, doch ist daselbst von keiner Regelmässigkeit mehr die Rede; im einen Jahre fallen wolkenbruchartige Platzregen, in einem anderen bleibt der Regen ganz aus. Erst im nördlichen Nubien setzt die eigentliche Regenzeit ein, doch ist sie hier nur kurz, sogar in Chartum dauert sie kaum ein Vierteljahr, im benachbarten Darfur dagegen bereits vier Monate. Je weiter man südwärts fortschreitet, um so gleichmässiger verteilen sich im afrikanischen Binnenlande die Niederschläge über das ganze Jahr; bis zum Südufer des Victoria Nyanza*) herrscht diese ombrische Gleichmässigkeit. Im Gebiete des Lualaba tritt der Tropencharakter wieder in seine Rechte, Regen fällt wesentlich nur vom Ende Oktober bis Mitte Mai, gegen den Zambesi hin erscheint auch wieder die Zwiefältigkeit der Niederschlagsmaxima. Weiter nach Westen hin liegt der Oberlauf des Niger im Bereiche der einmaligen perennierenden Regen, nach Norden hin wird diese Regenzeit immer kürzer, und Timbuktu sieht nur in den Monaten August und September Regen fallen. „Durchschnittlich kann man mit E. Fischer den Beginn der tropischen Sommerregen, Regen beim Zenitstande der Sonne, im nördlichen Afrika bei 17° n. Br. annehmen, der Gürtel mit reichlichen Sommerregen beginnt jedoch erst einige Grade weiter südlich“.**) Im wesentlichen ähnliche

*) Hann, S. 273.
**) Ibid. S. 275.

Verhältnisse scheinen, soweit die vorliegenden dürftigen Nachrichten einen Schluss gestatten, auch zwischen dem Aequator und dem Wendekreise des Steinbockes zu bestehen, insbesondere soweit es einen schmalen, durch den grössten Teil des Festlandes sich hindurchziehenden Parallelgürtel ohne Bevorzugung einer bestimmten Jahreszeit durch Regenfall angeht.

Wenn wir aus Afrika in den indischen Ozean übertreten, so befinden wir uns allsogleich in der Machtsphäre des Südwest-Monsuns; allerdings macht sich dieselbe nur im Sommer, in der Regenzeit, geltend, während im trockenen Winter der Nordost-Passat — an Ort und Stelle auch, obwohl sehr uneigentlich, „Monsun“ genannt — herrschend wird. Die Monate April und Oktober vermitteln die Ablösung des einen durch den anderen Wind. Der tropische Sommerregen überzieht auch noch den südlichen Teil von Arabien, welcher, einen schmalen Uferstreifen abgerechnet, durchaus nicht von der sonst sprichwörtlichen Dürre jener Halbinsel betroffen wird. Doch gilt dies nicht mehr für Maskat, welches zwar nach der mathematischen Zoneneinteilung gerade noch von den Tropen beansprucht werden könnte, klimatisch aber entschieden subtropisch sich verhält. Nunmehr gelangen wir zu dem tropischen Hindostan, einem Lande, dessen Klimatologie durch die Bemühungen Blanfords und Hills sehr gründlich erforscht ist, gründlicher sogar, als die manches europaeischen Landes. Dezember und Januar sind durchweg die kältesten Monate, die höchste Mitteltemperatur trifft auf die Monate April bis Juli, je nachdem der betreffende Ort weniger oder weiter vom Aequator entfernt ist. Sehr gering ist die Temperaturschwankung des Jahres auf den zu Vorderindien gehörigen Inseln, weiter im Norden wird sie nach und nach grösser und steigt im Pendjab bis zu 22° an. Temperaturgang und Regenfall nötigen in Indien zur Unterscheidung von drei Jahreszeiten: der kühlen (Oktober bis Februar-März), der heissen und der Regenzeit; die Grenzen der beiden letzteren sind für verschiedene Landesteile sehr verschieden. Der Nordost-Monsun fällt in dem durch eine riesenhafte Gebirgsmasse vom Rumpf des asiatischen Kontinentes abgetrennten nördlichen Indien fort, weiter südlich ist sein Vorhandensein durch schwache Nord-, Nordwest- und Nordostwinde angedeutet. Über der Bai von Bengalen dagegen weht auch dieser Monsun bis sum Ende des Januar kräftig. In der letzten Maiwoche beginnen im äussersten Süden, über Ceylon,*) die Monsunregen, sie rücken rasch nach Norden fort und erreichen Bombay in der ersten, Kalkutta in der zweiten Woche des Juni.**) Nach dem Herbstaequinoktium wird der Monsun schwächer und hört Ende September oder Anfang Oktober gänzlich auf. Im nördlichen Indien ändert sich nach Hill***) mit diesem Termine auch der allgemeine Gesundheitszustand sehr zum ungünstigen; die Sterblichkeit ist im Oktober die doppelte von derjenigen des März, und zwar trägt daran fast lediglich die Malaria die

*) Nach Clarke, dem Surveyor General, sind die Regenmengen über Ceylon nichts weniger als gleichmässig verteilt; besonders wird die Südwestseite der Insel ungleich stärker befeuchtet als die Nordwestseite.

**) Hann, S. 293.

***) Hill, The Effects of the Weather upon Death rate and Crime in India, Nature, 1885. S. 338 ff.

Schuld, weit weniger die gerade um diese Zeit sehr zurücktretende Cholera. Nur ausnahmsweise, im Süden des bengalischen Meerbusens und auf den Inseln, ist die Regenzeit durch ein doppeltes Maximum ausgezeichnet, wie auch zum Teile noch in Hinterindien (Bangkok); das untere Bengalen und Assam sind ausser mit den regelmässigen Monsun-Regen des Sommers auch noch mit leichteren Frühlingsniederschlägen bedacht.

Vielleicht empfiehlt es sich, von dem bunten Wechsel der Jahreszeiten in der wichtigsten und wohl auch klimatologisch bedeutsamsten Provinz Britisch-Indiens, in Bengalen, ein mehr spezialisiertes Bild zu entwerfen. *) In der zweiten Hälfte des Oktober und im November ist das Wetter schön und unter dem Einflusse des sich allmählig entwickelnden Nordost-Monsuns auch nicht zu heiss, der Himmel klar, der Thaufall reichlich, die Nacht erfrischend.**) Der November ist im ganzen Lande der Bestellung der Felder gewidmet. Im Dezember weht der Monsun stärker, es wird oft empfindlich kalt, die Ernte wird unter Dach gebracht. Dann kommt die schönste Zeit des Jahres, Januar und Februar, die Reisezeit, welche auch den Engländern die Verlegung der Garnisonen in dem weiten Reiche ermöglicht. Wärmer wird es schon im März, doch bleibt die Hitze noch erträglich, bis dann im April jene gefürchtete, durch keine Wolkendecke gemilderte Bestrahlung eintritt, welche der Europäer nicht zu ertragen vermag, welcher er, wenn irgend möglich, durch die Flucht in eine der Gebirgs-Gesundheitsstationen zu entrinnen sucht. Während des Mai und Juni tritt noch keine namhafte Änderung ein, die ausgetrockene Erde bekommt Risse, die Brunnen geben kein Wasser mehr her, die Arbeit des Säens bereitet auch dem Einheimischen Not und Mühe. Aber gegen Ende Juni spendet der Himmel zuerst wieder jenen oben erwähnten Frühlingsregen, und mit den bald nachher einsetzenden Südostwinden kündet sich der Anfang einer neuen, regnerischen Jahreszeit an. Leichte Gewitter wirken zuerst reinigend auf die schwüle Luft, alsdann ballen sich die Wolken in schweren Massen zusammen, und bald stürzt eine wahre Sündflut in Strömen herab, welche kein Ende mehr nehmen zu wollen scheinen. Doch vertreibt für kurze Zeit der Wind den Regen, freilich nur um für neue Güsse den Platz zu bereiten, deren nächste Wirkung freilich durchaus keine angenehme ist, deren Ausbleiben aber alle Schrecknisse von Pest und Hungersnot im Gefolge haben würde. Die weiten Niederungen gleichen in diesen Wochen einem unermesslichen Landsee, der Verkehr zwischen den als Inseln aufragenden menschlichen Wohnplätzen wird durch eigens für diesen Zweck eingerichtete Fahrzeuge („Dhonies“) notdürftig unterhalten. Man ist durch die Gewalt der Elemente auf den Umkreis des

*) Grube, Geographische Charakterbilder in abgerundeten Gemälden aus der Länder- und Völkerkunde, 2. Teil, Leipzig 1855. S. 151 ff.

**) Es wird berichtet, dass in den kühlen Nächten die Ausstrahlung des Bodens kräftig genug ist, um die Temperatur an und in nächster Nähe der Erde auf den Gefrierpunkt herabsinken zu lassen. Gräbt man dann in das Erdreich flach-konische Höhlungen, bekleidet die Seitenflächen mit einem schlechten Wärmeleiter (Stroh) und giesst auf diesen Wasser, so kann es unter günstigen Umständen geschehen, dass dieses Wasser sich in Eis verwandelt, und dass also in einem der anerkannt heissesten Striche der Erde mit geringer künstlicher Nachhilfe der Gefrierprozess eingeleitet wird.

Hauses beschränkt, allein auch von da ist jedwede Gemütlichkeit verbannt, die Tiere des Feldes suchen die Wohnungen der Menschen auf, ohne Licht darf man zur Nachtzeit mit Rücksicht auf diese ungebetenen Gäste im eigenen Zimmer nicht herumgehen. Nach vier bis sechs Wochen schliessen sich die Schleussen des Himmels, die massenhaft zurückgebliebenen Schlammsedimente gewähren reiche Ernten, und wieder tritt, wenn um die Zeit der Herbst-Tagundnachtgleiche die Winde auffrischen, die schönere Zeit des Jahres ein, eine nach vielen Beschreibungen geradezu köstliche, durch üppiges Grünen und Blühen der Pflanzenwelt ausgezeichnete Zeit.

Von Hinterindien ist aus sehr nahe liegenden Gründen viel weniger zu sagen als von Vorderindien. Auf dem Lande begegnen wir durchgängig einem heissfeuchten, von den Monsunen beherrschten Seeklima; doch machen in Cochinchina, wie Zoeppritz auf grund französischer Beobachtungen nachzuweisen imstande war, die Land- und Seewinde den Monsunen starke Konkurrenz. Drei Monate sind in jenem Küstengebiete absolut regenlos. Besonders ungünstig, ja mörderisch gestaltet sich die klimatische Lage in Tongkin, während Siams Klima dem Fremden als Bedingung der Akklimatisation nur einen tüchtigen Katarrh aufzuerlegen pflegt.*) Von China gehört nur ein geringer Bestandteil mit Kanton zur Tropenzone; dortselbst zeichnet sich der Nordost-Monsun durch seine ganz ungewöhnliche Trockenheit aus. Kanton ist wohl einer der wenigen zwischen den Wendekreisen gelegenen Orte, an denen es zu Schneefall und spontaner Eisbildung kommt.

Das Klima der Philippinen ist nach Semper ein tropisch-insulares im vollsten Sinne des Wortes, d. h. die Luftwärme ist stets bedeutend, nur geringen Schwankungen ausgesetzt, Regenmenge und Luftfeuchtigkeit überschreiten ein normales Mass. Die trockene und nasse Jahreszeit prägen sich deutlich aus; in Manila dauert**) die trockene Jahreszeit vom November bis zum Juni. Die Beobachtungen des von Jesuiten geleiteten meteorologischen Observatoriums der Hauptstadt von Luzon zeigen, dass die Windrichtung in allen Jahreszeiten eine äusserst regelmässige ist, im Laufe eines Jahres aber die ganze Windrose umwandert. Furchtbare Wirbelstürme, oft im Bunde mit Erdbeben, kommen häufig genug vor. — Bei der Betrachtung der regulären Windsysteme haben wir erfahren, dass im hinterindisch-australischen Gebiete, innerhalb dessen Neuholland eine selbständige Festlandmasse repräsentiert, ein Nordwest-Monsun als Regenwind auftritt, freilich mit weit geringerer Intensität, als sie dem Südwest-Monsum des freien indischen Meeres eignet. Das betreffende Gebiet wird gegen Osten hin von den Inselgruppen der Salomonen und Neuen Hebriden abgegrenzt. „Die Temperatur im indischen Archipel ist die gleichmässigste, die wir auf der Erde kennen“;***) die jährliche Temperaturschwankung fängt erst in den australischen Gewässern wieder an, sich bemerklich zu machen. Ebenso ist die Feuchtigkeit in der Atmosphaere eine ziemlich konstante.†) Auf allen niederländischen

*) Hann, S. 317.
**) Jagor, Reisen in den Philippinen, Berlin 1873. S. 42.
***) Hann, S. 322.
†) Verglichen mit anderen Orten des Gebietes hat Batavia, wie Liznars

Inseln sind die jahreszeitlichen Übergänge verwischt,*) eine so scharf markierte Regenperiode wie sonst in den Tropenländern, ist nicht vorhanden, ja auf Neu-Guinea regnet es das ganze Jahr hindurch. Der Nordwest-Monsun samt den ihn begleitenden Regen dringt tief in das Innere des Kontinentes Australien ein, erst bei 18° s. Br. verliert die Regenperiode allgemach den tropischen Anstrich. Doch bleiben längs der ganzen Ostküste Australiens die Sommerregen die vorherrschenden.**) Von den deutschen Besitzungen des westlichen Polynesien (Melanesien) laufen nach und nach auch klimatologische Berichte ein; vom „Bismarck-Archipel" ist nach Parkinson hervorzuheben, dass kühle Abende dort dem Kolonisten zur Erquickung gereichen, dass aber zur Tageszeit sehr häufig Höhenrauch den Horizont verdüstere. Von diesem Rauche wird behauptet, er stehe in einer gewissen Beziehung zu den jene Gruppe nicht selten gefährdenden Erderschütterungen.

Der Inselerdteil Polynesien gehört ganz und gar der Tropenzone an, nur von den französischen Besitzungen ragen einige in die südliche gemässigte Zone hinein. Die Breitenausdehnung ist also so beträchtlich, dass im Norden der Südwest-Monsun Südasiens, weiter südlich aber der Nordwest-Monsun Australiens als der herrschende Wind anzusehen ist, doch ist, je weiter nach Osten gelegene Gebiete man in betracht zieht, auch das Wehen der Passate sehr bemerkbar, und es ist deshalb nicht leicht, die beiden grossen Windsysteme in ihren Wirkungen immer auseinanderzuhalten. Die Wassertemperatur, deren Einfluss natürlich auch nicht unterschätzt werden darf, ist durchaus niedrig.***) Die jährliche und tägliche Wärmeschwankung auf den einzelnen Inseln ist hier, wo sich das Seeklima in vollster Reinheit entfalten muss, sehr gering, die Regenmenge wird — vgl. das weiter oben über Hawaii beigebrachte — wesentlich durch den Gegensatz zwischen Luv und Lee bestimmt. Die regelmässige Regenzeit der Tropen findet sich auf der einen Insel, z. B. auf Vanua Leru, †), auf einer anderen wieder nicht, insbesondere liegen die Sandwichs-Inseln, welche nach Finsch neun Monate des Jahres einen der angenehmsten Aufenthaltsorte auf Erden darbieten, bereits im

Bearbeitung der dort erhaltenen klimatologischen Daten ausweist, eine etwas grössere Feuchtigkeitsschwankung; im Februar enthält die Luft Javas viel weniger Wasserdampf als im September. Auch ist ein sehr anormaler Bewölkungsgang vorhanden (s. o.)

*) Neue Materialien zur Aufklärung der verwickelten meteorologischen Zustände des hinterindischen Arichipelagus liefern die von G. Gerland unlängst herausgegebenen „Beiträge zur Geophysik" (Stuttgart 1887, 1. Band) durch die in ihnen enthaltene Abhandlung von Blink, „Wind- und Meeresströmungen im Gebiete der kleinen Sunda-Inseln". Mit Berücksichtigung der von Schiffen gelieferten Nachrichten weiss Blink die Termine ziemlich genau festzustellen, welche dem Umsetzen der Winde und den sich dazwischen einschiebenden Fristen einer grossen relativen Ruhe der Atmosphaere entsprechen.

**) Hann, S. 333.

***) Die Abhängigkeit der Wasserwärme von den Meeresströmungen wird sehr gründlich dargethan in Krümmels Aufsatze „Die Temperaturverteilung in den Ozeanen" (Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 6. Jahrgang. S. 31 ff.). Insonderheit tritt oft in Regionen, die an sich eine sehr hohe Temperatur erwarten liessen, eine merkwürdig geringe dem Beschauer entgegen, was auf Aspiration kalten Tiefenwassers schliessen lässt.

†) Hann, S. 338.

Bereiche des unregelmässig über die Jahreszeiten verteilten Regenfalles. Für die einzelnen Gruppen gestalten sich alle Verhältnisse sehr verschieden. Mit am besten sind uns, durch Vaughan und Holmes, diejenigen der Fidji-Inseln erschlossen; das Klima soll dort ein recht gesundes sein, so dass auch Europäer im Freien arbeiten könnten (?), die Heiterkeit der Luft ist eine sehr grosse, heftige Wirbelstürme, hie und da sogar begleitet von Hagelfällen, stören allein die Idylle des dortigen Klimas.

Nach Durchschreitung des stillen Ozeanes machen wir am Festlande Süd- und Zentralamerikas halt und wenden uns der Schilderung seiner klimatischen Eigentümlichkeiten zu, wobei allerdings das Bedauern nicht unterdrückt werden kann, dass von einem schon so lange mit Europa in Wechselverkehr stehenden Kontinente so wenig wirklich zuverlässiges Material vorliegt. *) Die Wärmeverteilung ist so beschaffen, dass im Sommer ein Maximum über dem mexikanischen Golfe liegt, welches sogar einen Teil der nördlichen gemässigten Zone der tropischen vorübergehend anzugliedern vermag, wobei auch die überaus hohe Temperatur des Oberflächenwassers das ihrige thut; gegen den Herbst hin wandert das Maximum nach Südamerika hinüber und überschreitet später den Aequator. Unregelmässige Temperaturschwankungen von aussergewöhnlicher Grösse sind den Ländern Mexiko, Cuba, Mittelamerika im Winter eigen, weil hier — umgekehrt wie oben — der strenge Winter Nordamerikas über die Grenze des Tropengürtels herübergreift. Gleichmässig temperiert ist die Ostküste von Südamerika, wo selbst tiefer im Inlande **) die Temperaturdifferenz der Mittel zweier extremer Monate nicht viel über 2 ^{0} zu steigen pflegt. Wie hinsichtlich der Temperatur so entbehrt auch hinsichtlich der Niederschläge das tropische Amerika jener Gleichförmigkeit, welche das tropische Afrika auszeichnet. Mexiko z. B. hat die normalen tropischen Sommerregen und einen trockenen Winter, Zentralamerika und die Cordilleren haben grösstenteils die zwei dem Zenitstande der Sonne entsprechenden Regenperioden, auch in Westindien erkennt man neben dem eigentlichen ombrischen Maximum im Oktober ein sekundäres im Mai. Auf den Antillen herrscht geringe Regelmässigkeit; so besitzt die kontinentale Insel Trinidad nur ein einfaches Regenmaximum, die ihr gegenüber liegende Guyana-Küste ein doppeltes. Pernambuco und Umgebung zeigen, da sie wesentlich Winterregen haben, schon einen subtropischen Charakter, aber weiter südlich

*) In Brasilien wurden allerdings, wie Draenert mitteilt, schon im vorigen Jahrhundert Beobachtungen angestellt, wie denn der portugiesische Astronom Bento Sanches Dorta in Rio von 1781 bis 1785 Temperatur, Regenmenge, die Anzahlen der Regen- und Gewittertage aufzeichnete. In einzelnen Provinzen datiert der regelmässige Beobachtungsdienst seit 1849 resp. 1855, an der kaiserlichen Sternwarte seit 1851. Ein Stationennetz aber wurde von der Regierung erst 1875 eingerichtet; die Begründung einer meteorologischen Zentralanstalt ist noch nicht über das Stadium der Instruktion hinaus gelangt.

**) Nach neueren Mitteilungen Draenerts scheint allerdings diese Angabe von Hann (S. 346) manchen Einschränkungen unterworfen zu sein; jener um die brasilianische Klimatologie sehr verdiente Gelehrte versichert uns nämlich, dass selbst in der kleinen Küstenprovinz Pernambuco, je nachdem das Meeresufer oder das binnenwärts gelegene Städtchen Vitoria in frage kommt, der Gegensatz zwischen Küsten- und Binnenklima sich sehr stark auspräge.

verwischt sich dieser wiederum, und in Rio de Janeiro regnet es zwar in allen Jahreszeiten, am meisten jedoch im Sommer. Ungemein niederschlagsarm ist der schmale Landstreifen, welcher das Andengebirge vom pazifischen Meere trennt; von 30° bis 5° s. Br. ist dort ein Regenfall ein seltenes Ereignis. Dagegen fehlen Südamerika jene wasserarmen Striche, welche den tropischen Regengürtel nach beiden Seiten hin einschliessen; eher sind feuchte Niederungen an die Stelle der Wüsten getreten. Da die grosse Gebirgswand Südamerikas auf dessen westlichster Seite liegt, so steht dem feuchten Passatwinde das ganze Innere dieses Erdteiles offen, während Afrika sich stetig von Westen nach Osten erhebt und daher grossenteils im Lee des Südost-Passates gelegen, hinsichtlich seiner Niederschläge also viel mehr an die vom Sonnenstande abhängigen, echt tropischen Luftauflockerungsprozesse gebunden ist.

Einige lokale Charakteristiken werden unserer allgemeinen Darstellung zur Vervollständigung dienen. Das Klima der westindischen Inseln wird einigermassen durch den Umstand beeinflusst, dass selbe ausnahmslos auf der Zugstrasse der grossen Drehstürme des atlantischen Ozeans gelegen sind. So lange diese nicht ihre verheerende Kraft bethätigen, ist der Gang der Witterung, besonders auf den Virginischen Inseln, *) während dreier Vierteile des Jahres ein überaus regelmässiger. Haiti weiss nur von den zwei gegensätzlichen Jahreszeiten der Tropen, einer trockenen und einer regnerischen, Jamaika dagegen ist durch zwei Trocken- und zwei Regenzeiten charakterisiert. Sehr regenreich ist Porto Rico, auf welcher spanischer Insel im Dezember 1883 ein Tagesniederschlag von 142 mm gemessen wurde. Das Festland von Zentralamerika, und von diesem wieder am meisten die im Plateau von Anahuac endigende Erhebung ist ausgezeichnet durch ähnliche klimatische Höhenschichten, wie sie uns bereits bei der Klimatographie von Habesch vorkamen: tierra caliente, tierra templada, tierra fria. Der Höhenabstand der drei Zonen ist gar kein grosser, wenigstens behaupten die Mexikaner, dass ein guter Reiter vom Meeresgestade aus an einem einzigen Tage die zwei ersten Gebiete durchziehen und bis zum dritten vorzudringen vermöge, dabei jedoch seine Kleidung immer nach den herrschenden Wärmezuständen zu verändern gezwungen sei. Diese eigenartige Vertikalgliederung des mittelamerikanischen Klimas hat zur erfreulichen Folge, dass der Abkömmling irgend eines Teiles der alten Welt einen Platz findet, auf welchem er seine Ansiedlung bewerkstelligen kann. Die Halbinsel Yukatan darf sich keines günstigen Klimas rühmen, es ist dort im Sommer sehr heiss, während die Herbst- und Winterregen das Flachland meilenweit unter Wasser setzen, weit vorteilhafter ist das Land der Mosquito-Indianer beschaffen, obwohl auch da während der eigentlichen Regenzeit das Land nach Bell „wie ein Kochtopf" dampft. Vom Klima Costaricas wissen wir näheres durch M. Wagner **) und Frantzius; ***) danach kennt die Ostseite des Landes eine Trockenzeit überhaupt nicht, mit geringen Unterbrechungen regnet es an ihr Tag

*) Hann, S. 354.

**) Wagner-Scherzer, Die Republik Costarica in Zentralamerika, Leipzig 1856. S. 270 ff.

***) Hann, S. 631 ff.

für Tag; an der Westseite dagegen sehnt man sich des unermesslichen Staubes halber nach den nur selten erfolgenden Regenfällen. Costaricas Osthälfte, der auch die innere Hochfläche samt der Hauptstadt Cartago angehört, ist bei den Bewohnern Mittelamerikas durch ihre Nässe übel berufen, doch ist Nicaragua eher noch mehr denn weniger feucht, und in San Salvador und Guatemala ist zwar die Absolutmenge des jährlichen Niederschlages eine geringere, aber die Heftigkeit der Regengüsse in Guatemala ist dafür eine umso grössere und hat den Pflanzern, ehe noch die von den Anilinfarben ausgehende Konkurrenz sich fühlbar machte, die Absicht nahe gelegt, die Kultur der früher als Hauptexportartikel betrachteten Kochenille durch die Kultur des Kaffeebaumes zu ersetzen. Die scharfe Gegensätzlichkeit zwischen der atlantischen und pazifischen Seite des Zwischenlandes schwindet mehr und mehr bei der Annäherung an die schmalste Stelle, den Isthmus von Darien. Hier sind zwei Trocken- und zwei Regenzeiten bestimmt ausgeprägt, fünf Monate sind trocken, sieben feucht, das dumpfe Klima hat der Durchführung von Lesseps' Plane eines ozeanischen Verbindungskanales bismehr mehr Schwierigkeiten entgegengestellt als anderweite Naturhindernisse. *)

Den vereinigten Staaten von Columbien ist eine neuere Bearbeitung zertreuter Beobachtungen durch Kunze zugute gekommen; die Begünstigung der atlantischen Küste durch den Regenfall hält auch hier vor. Auf den Llanos von Venezuela ist die trockene Zeit des Jahres eine überaus unheilvolle für das organische Leben, wie dies in wahrhaft poetischer Sprache von Humboldt geschildert wird.**) Morgentemperaturen, vor Aufgang der Sonne gemessen, von 25^0 beweisen, dass da von nächtlicher Abkühlung nicht die Rede sein kann. „Grösste Gleichmässigkeit einer hohen Temperatur und Feuchtigkeit bei grosser Regenmenge ist bezeichnend für das Klima des Küstenstriches von Guyana“***); im Inneren des Landes währt der fast unausgesetzte Regenfall von Ende April bis Juni oder August. Noch das beste Klima mag Britisch-Guyana eignen; in Surinam sieht es schon schlimmer aus, und der

*) Sehr gute und wohl zu wenig bekannte Details über das Klima des südlichen Teiles von Zentralamerika enthalten zwei Schriften von Moritz Wagner: Beiträge zu einer physisch-geographischen Skizze des Isthmus von Panamá; Beiträge zur Meteorologie und Klimatologie von Mittelamerika (Gotha 1861, Dresden 1864). Hevorgehoben wird die starke und unheilvolle Einwirkung der häufigen elektrischen Entladungen auf das Nervensystem der Einwanderer (nicht auch der Eingeborenen). Mangelnde klimatologische Sachkenntnis hatte vor nunmehr bald zweihundert Jahren den Untergang der Kolonie zur Folge, welche von Schottland unter der Regierung Wilhelms III. von Oranien an der Landenge von Darien begründet wurde — eine der lehrreichsten Episoden der Kolonialgeschichte aller Zeiten.

**) A. v. Humboldt, Ansichten der Natur mit wissenschaftlichen Erläuterungen, 1. Band, Stuttgart-Augsburg 1859. S. 26 ff. „Ein trübes, fast strohfarbiges Halblicht wirft die nur scheinbar niedrigere Himmelsdecke auf die verödete Flur. Der Horizont tritt plötzlich näher. Er verengt die Steppe, wie das Gemüt des Wanderers. Die heisse, staubige Erde, welche im nebelartig verschleierten Dunstkreise schwebt, vermehrt die erstickende Luftwärme. Statt Kühlung führt der Ostwind neue Glut herbei, wenn er über den lang erhitzten Boden hinweht.“

***) Hann, S. 366.

Hauptort des französischen Besitzanteiles, Cayenne, ist ausreichend dadurch stigmatisiert, dass es die „trockene Guillotine“ der augenblicklichen Machthaber Frankreichs heisst. Das Küstenklima Nordbrasiliens partizipiert an den schlimmen Eigenschaften desjenigen von Guyana, zumal Bahia steht bei den Seefahrern in keinem guten Rufe, doch bewähren auch hier die Gewitter ihre reinigende Kraft. Zusammenhängende, nicht durch Tage von ganz anderer Eigenart unterbrochene Regen- und Trockenzeiten findet man erst weiter stromaufwärts am Maranhon, wo sich diese Zeiten auch im periodischen Steigen und Fallen dieser mächtigsten Wasserader der Erde manifestieren. In Ega, nahe dem Einflusse des Purus, sind zwei Regen- und zwei Trockenzeiten vorhanden.*) Als klimatische Merkwürdigkeiten aus dem inneren, wenig erforschten Brasilien verzeichnen wir die den Flussthälern am frühen Morgen eigentümliche Neigung zur Nebelbildung, sowie den Umstand, dass selbst noch fünf Grade nördlich vom Wendekreise des Steinbockes Schnee und Eis wahrgenommen worden ist. — Nebel sind auch die Plage der peruanischen Küstenregion, denn in eigentlichen Regen gehen dieselben nur sehr selten über, wie denn Lima wohl die wasserärmste Stadt auf dem Erdenrunde sein möchte; nur ab und zu „nebelt es“, feine Perlen, von den Kreolen „Garua“ genannt, lösen sich von dem Nebelschleier ab. Weiter oben am Abhange der Anden fällt dagegen von Oktober bis März ziemlich andauernd Regen, und auch in der zwischenliegenden Zeit fehlt es nicht an Gewittern. Bemerkenswert ist, dass, Stübel zufolge, auf der Hochebene von Ecuador das spanische Wort „Verano“ (Sommer) seine Bedeutung den Ortsverhältnissen hat anbequemen müssen, denn so heisst in Quito einfach die Periode des regelmässigen Ostwindes, welche sich vom Juni bis zum September erstreckt.

IIa. Allgemeine Charakteristik des Klimas der gemässigten Zonen.

Während Regel- und Gesetzmässigkeit die heisse Zone auszeichnet, ist Regellosigkeit die Signatur der beiden zwischen Wende- und Polarkreis enthaltenen Erdgürtel, welche somit in einer Hinsicht ihren Namen „gemässigt“ nicht eben mit Recht zu führen scheinen. Die Wärmeextreme sind auf der kontinentalen Nordhalbkugel zwischen den Wendekreisen überaus beträchtlich, auf der maritimen Südhalbkugel selbstredend weit weniger. In anderer Beziehung ist dagegen der Name vollkommen gerechtfertigt, insofern nur dieser klimatische Charakter mit seinen scharf markierten jahreszeitlichen Gegensätzen die Unterlagen für geistige und körperliche Entwicklung und Vervollkommnungen des Menschengeschlechtes darbietet.**) Monotonie der Wärme wie der Kälte wirken, wennschon in verschiedenem Sinne, gleich abstumpfend auf Geist und Körper ein.

*) Hann, S. 371.

**) Schon Hippokrates skizziert mit dem ihn auszeichnenden Seherblicke die Abhängigkeit des Satzes „Gesunde Seele im gesunden Leibe“ von der Aufeinanderfolge kalter und warmer Zeiten, während gleichmässig mildes Klima seiner Ansicht nach zur Verweichlichung und zu Quietismus führen muss.

Sonst ist generell von den gemässigten Zonen besonders das zu sagen, dass sie die Zonen der Westwinde sind.*) Wenn dies auch am Erdboden selbst weniger klar sich ausspricht, so vergewissern doch darüber die Gebirgsbeobachtungen und die Verfolgung des Zuges der höchst schwebenden Wolken.**) Jene Zone der Ausbauchung des Luftsphaeroides und des hohen Luftdruckes, welche durch Ferrels Theorie (s. o.) gefordert und zumal durch die auf offener See gemachten meteorologischen Beobachtungen als wirklich bestehend nachgewiesen wird, scheidet die Windgebiete der tropischen und der gemässigten Zone von einander. Die Luftdruckverteilung braucht hier nicht eingehender besprochen zu werden, da die Hauptgesetze bereits früher besprochen sind und im ersten Anhang ohnehin nochmals darauf zurückzukommen sein wird. Doch soll damit nicht der Forschung praejudiziert sein, vielmehr gilt mehr als je für die Gegenwart das Wort von Hann***): „Die Aufsuchung von Relationen zwischen den Temperaturverhältnissen der Tropenzone und den allgemeinen Witterungsverhältnissen der mittleren und höheren Breiten ist eine der wichtigsten nächsten Aufgaben der Meteorologie und der vergleichenden Klimatologie.“ Von Luftfeuchtigkeit, Bewölkung und Niederschlägen lässt sich nichts für das gesamte Gebiet der gemässigten Zonen gemeinsames angeben, nur einzelne Teile der letzteren sind, wie wir demnächst sehen werden, durch eine gewisse zeitliche Übereinstimmung betreffs der Regenverteilung ausgezeichnet. Auch die medizinische Klimatologie muss desshalb auf die Fixierung beherrschender Gesichtspunkte so ziemlich Verzicht leisten; nur das verdient betont zu werden, dass in den gemässigten Breiten der südlichen Hemisphaere das Klima für sehr gesund gilt, wofür eine intensivere Ventilationsbewegung seitens der kühlen und über dem Festlande sich rasch erwärmenden Seewinde wohl den hauptsächlichsten Grund abgibt. Wir können jetzt gleich zur Betrachtung der Besonderheiten fortschreiten.

IIb. Detail-Klimatographie der südlichen gemässigten Zone.

Wiederum führe der afrikanische Kontinent den Reigen. Der klimatische Charakter von Südafrika ist subtropisch; mit diesem schon mehrfach, aber nur gelegentlich gebrauchten Worte soll angedeutet werden, dass noch immer, wie unter den Tropen, eine Jahreszeit die durch Regenfall bevorzugte ist. Diese Jahreszeit ist der Winter; subtropische Zone ist identisch mit Zone der Winterregen oder besser noch Zone der mangelnden gleichmässig verteilten Regen, indem nämlich wohl auch die lebhafteste Ausscheidung der atmosphaerischen Feuchtigkeit auf die Frühlings- und Herbstmonde treffen kann. Im Kaplande herrschen während des Winters gewöhnlich Nordwestwinde, welche feuchte Luft mit sich führen und die Regenzeit bedingen; während des Sommers weht meistenteils Südost, unter dessen Einflusse sich über der Platte

*) Hann, S. 701.

**) Auch das Volk weiss dies und schützt im Gebirgslande die „Wetterseite“ durch besondere bauliche Massregeln (Schindel-Verschalungen).

***) Hann, S. 708.

des Tafelberges das dem Schiffer wohlbekannte „Tafeltuch“ bildet, das oft plötzlich zerreisst und in Gestalt eines ungemein heftigen „Fallwindes“ seine feuchten Luftmassen in die Ebene hinabsendet. Die Windverhältnisse im südlichen Dreiecke Afrikas lassen sich durch die naturgemässe Annahme, dass im Winter über dem erkaltenden Lande antizyklonale, im Sommer über dem sich erhitzenden Lande zyklonale Bewegungen der Luft eingeleitet werden müssen, ziemlich einfach erklären, doch gibt es auch minder leicht aufzuklärende Einzelpunkte.*) An beiden Küsten ist es ziemlich kühl, grosse Gegensätze zwischen Sommer und Winter treten erst im Inlande hervor, wo Frosttage, im Kaplande unbekannt, nicht eben eine Ausnahme sind. Auch die täglichen Wärmeschwankungen nehmen rasch mit der Entfernung von der Küste zu. Die westliche Küstenzone ist ausgesprochener subtropisch als die östliche, von wo aus die Sommerregen ziemlich tief binnenwärts sich erstrecken; an der Küste von Natal sind die vom Passat bewirkten Seeregen, oder, nach ihrer gewöhnlichen Dauer so zubenannt, Dreitageregen sehr häufig.**) Die Bewölkung ist an der Südseite am stärksten und nimmt landeinwärts ab. Im grossen und ganzen ist das Klima des subtropischen Afrika gesund, dem Nordländer zuträglich und namentlich für gewisse Krankheitsformen heilbringend; ja der Karroo und der Republik Transvaal wird sogar ein absolutes Nichtvorhandensein von Schwindsucht nachgerühmt.

In dem zwischen Afrika und Australien gelegenen Meere liegen verschiedene echt ozeanische Inseln. Da ist St. Paul, unter 38° 43' s. Br. gelegen, mit entschiedenem Seeklima, das um die Mitteltemperatur von 12,6° nur Schwankungen von höchstens 8° zulässt.***) Ferner ist da die Kerguelen-Insel, auf welcher dereinst James Ross überwinterte; nach Hann (a. a. O.) „eines der auffallendsten Beispiele einer durch rein ozeanische Lage erniedrigten Sommerwärme und der Abstumpfung des Temperaturunterschiedes zwischen Winter und Sommer“. Schnee, Hagel und kalte Winde fehlen auch dem Sommer nicht, und die Gletscherzungen dringen an einzelnen Stellen bis zum Meeresspiegel vor. In diese Kategorie gehören auch die allerdings etwas weiter östlich, nämlich südlich von Neu-Seeland gelegenen Aucklands-Inseln, welche sich eines für ihre Lage überaus milden Winters erfreuen dürfen; die Bäume behalten in diesem ihre Blätter, der spärlich fallende Schnee bleibt nicht liegen, unter — 5,6° ist, solange daselbst thermometrische Messungen angestellt werden, das Quecksilber niemals gesunken.

Das Festland von Australien bietet in seinem aussertropischen Teile ein klimatisches Analogon zu Südafrika. Wie hier herrscht auch dort grosse sommerliche Trockenheit, weshalb denn auch der ganze Kontinent nur einen einzigen für die Schiffahrt brauchbaren Strom, den Murray, besitzt, während dessen Nebenfluss, der Darling, ein Fluss,

*) Hierher gehören die von Teisserenc de Bort ihrer Thatsächlichkeit nach ermittelten Windströmungen des Basutolandes: am Morgen und Abend weht der Wind regelmässig aus Osten, tagsüber ebenso regelmässig aus Westen.

**) Hann, S. 619.

***) Ibid. S. 695.

dessen Bassin demjenigen der Elbe an Ausdehnung gleichkommt, den Sommer hindurch nur in einzelnen Wasserlachen fortbesteht. *) In Australien verstärkt der orographische Bau noch die Austrocknung der wasserreich vom Meere kommenden Winde. An der Ostküste nimmt von der tropischen Grenze her die Temperatur nach Süden zu sehr ungleichmässig ab, im Inneren bleibt sie immer höher als an der Küste, doch ist der Unterschied für Orte von gleicher Polhöhe im Sommer viel grösser als im Winter. Die Westküste ist ebenfalls kühler als die ihr entsprechende Ostküste, an ersterer gehen ergiebige Winterregen nieder. Die abflusslosen Zentralgebiete tragen das exzessivste Kontinentalklima zur Schau; Mitchell hat im Juni tägliche Temperaturschwankungen von 30° und darüber erlebt. Etwas sehr beachtenswertes sind auch die nur vorübergehend durch „heisse Winde“ — dies der landläufige Ausdruck — hervorgerufenen lokalen Erwärmungen der Ost- und Südküste; der Gluthauch dieser von den Küstengebirgen herabwehenden Fön-artigen Winde erreicht die Schiffe noch weit draussen auf hoher See. Auch betreffs der jährlichen Periode des Regenfalles stimmen Neu-Holland und das subtropische Afrika wesentlich mit einander überein; die Nord-Insel von Neu-Seeland hat Winterregen, die Südinsel weicht durch eine annähernd gleichmässig über das ganze Jahr sich verteilende Niederschlagsverteilung von der oben aufgestellten Regel ab.**) Bemerkt soll noch werden, dass es regenlose Gebiete, dies Wort im strengen Sinne genommen, auch im australischen Binnenlande höchst wahrscheinlich nicht gilt: die dortige Dürre ist nicht sowohl durch absoluten Regenmangel als vielmehr durch die minimale Menge der einzelnen Niederschläge bedingt.

Afrika und Australien sind, soweit sie nicht der heissen Zone angehören, ausschliesslich subtropisch, das länger in meridionaler Richtung gestreckte Südamerika dagegen reicht durch die subtropische Zone hindurch noch in die eigentlich gemässigte hinein. Und während in den beiden erstgenannten Kontinenten das Land im ganzen von Westen gegen Osten ansteigt, verhält es sich in Südamerika gerade umgekehrt, wodurch ebenfalls gewisse klimatische Verschiedenheiten sich erklären lassen. Die westlichen Winde beherrschen dasjenige Gebiet, über welches die beiden subtropischen Depressionen des atlantischen und grossen Ozeanes ihre Macht nicht mehr auszuüben vermögen, im Sommer etwa von 45° s. Br., im Winter von einer etwas geringeren Breite an. Ziemlich schwer zu übersehen sind die von Hettner einlässlich geschilderten Windverhältnisse der chilenischen Küste, doch behaupten Land- und Seewind daneben meistenteils ihre Rechte, letzterer sogar mit grossem Nachdrucke. Der in den Pässen der Anden dominierende Wind ist ein

*) Zehden, Handelsgeographie auf Grundlage der neuesten Forschungen und Ergebnisse der Statistik, Wien 1886. S. 245.

**) Sonst wollen wir der Kürze halber von Neu-Seeland noch konstatieren, dass dort ein mildes, sogar die Anlegung von Sanatorien empfehlendes Klima obwaltet, dass die Gletscher, häufig umgeben von fast tropischer Vegetation, stark entwickelt sind, dass der Witterungsgang im allgemeinen ein regelmässiger ist, und dass der — abgesehen von Erdstössen — sehr glücklich situierten Doppelinsel auch die in Australien gewöhnlichen Dürre-Perioden fehlen.

stürmischer West. Die Westküste, von einer kalten Meeresströmung ihrer Längsrichtung nach bestrichen, ist sehr kühl, nicht blos kühler als die Ostküste bei gleichen Verhältnissen, sondern auch kühler im eigentlichen Litoral als in Orten, die landeinwärts am Abhange des Gebirges liegen und sonach eine Temperaturabnahme erwarten lassen sollten. Auch die kalorische Jahresschwankung ist an der Ostküste die entschieden beträchtlichere. Der Westen hat dieselben subtropischen Winterregen wie Südwestafrika, im Osten dagegen herrschen, wie dort, die sommerlichen Regen vor, und an der Südspitze des Kontinentes fällt Regen in allen Zeiten des Jahres. Die Lufttrockenheit nimmt im subtropischen Südamerika niemals dieselben Dimensionen an, wie in Australien, und deswegen hat es auch nicht zur Wüstenbildung kommen können. Die weiten Grasfluren der Pampas in Argentinien dürfen kaum als „Steppen“ angesprochen werden.

Die südlichen Provinzen Brasiliens sind subtropisch, und es ist deshalb kein Wunder, dass die in jenen begründeten deutschen Kolonien — San Leopoldo, Santa Catarina, Blumenau, Pelotas*) u. s. w. — sich eines im ganzen recht anmutenden Gedeihens bisher zu erfreuen gehabt haben. Denn auch der Europäer kann hier Feldarbeit verrichten, die Sonnenstrahlung ist bereits gemildert, das Klima gesund, von perniziösen Fiebern, dieser Geissel der Tropenregion, hat man nichts mehr gehört, nachdem 1872 in Santos die südlichsten Fälle des brasilianischen gelben Fiebers zur Kognition gekommen waren. Nicht viel anders liegen die Dinge in den drei subtropischen Staaten Argentinien, Paraguay**) und Uruguay, in welche sich denn auch unaufhörlich ein Strom europäischer, hier besonders italienischer Einwanderer ergiesst. Das ersterwähnte Land ist von dem bekannten, dort seit Jahrzehnten angesessenen Naturforscher Burmeister genau beschrieben worden. Das Klima ist gesund***) aber eben nicht angenehm, weil unaufhörlich eine nördliche warme mit einer südlichen kalten Luftströmung im Kampfe liegt und die Atmosphaere in stetiger Bewegung erhält. Allein dieses Wehen der „Pamperos“ ventiliert die Luft und vertreibt die Miasmen, freilich wird es, wenn der Südstrom den Sieg erringt, auch oft recht kalt; in Buenos Aires betrug das bislang beobachtete absolute Minimum der Temperatur — 8,1°, in Uruguay — 5°. Um die Mündung des La Plata herum herrschen sehr extreme Feuchtigkeitsverhältnisse. Tiefer im Inlande, ganz besonders aber am Ostfusse der Anden, ist die Luft viel ruhiger, der Himmel rein und klar, nur ein heisser Nordwind („Sondo“) tritt ab und zu als Störenfried auf. Die patagonische Küste hat Ähnlichkeit mit der norwegischen, sie ist von schmalen Fjorden

*) Blumenau ist die nördlichste (mindest gesunde), Pelotas die südlichste (mindest fruchtbare) der deutschen Siedlungen. Von letzterer sind brauchbare meteorologische Beobachtungen vorhanden, um deren Bearbeitung sich G. Karsten verdient gemacht hat.

**) Die langjährigen Missregierungen in diesem von jeher bildungsfeindlichen Staate bewirkten es, dass wir noch heutzutage von seinem Klima nur wenig wissen. Erst neuerdings hat Henderson zuverlässigere Mitteilungen hierüber zu geben angefangen; dieselben sind von Strachan bearbeitet worden.

***) „Buenos aires“ = gute Luft.

zerrissen*) und sieht Gletscherzungen sich aus dem eisbedeckten Inlande bis ans Meer vorschieben; ihr Klima ist aber viel unfreundlicher als dasjenige Skandinaviens, und dem entsprechend reicht auch die Schneegrenze hier viel tiefer hinab als dort. Oberhalb einer durch den grössten Teil von Chile in sehr geringer Entfernung vom Meere verlaufenden Linie gibt es nur zwei Jahreszeiten, nämlich $4^1/_2$ Monate Sommer und $7^1/_2$ Monate Winter.**) Weiter abwärts und an der Küste ist der Unterschied zwischen mittlerer Winter- und Sommertemperatur kein erheblicher, er beträgt in ganz Chile nur fünf bis zehn Grade. Die Hauptstadt Santiago, 560 m über dem Meere gelegen, weist natürlich ein etwas kontinentaleres Klima auf, und im März hat man sogar bei klarem Himmel Eisbildung beobachten können. Eine komparative Übersicht des chilenischen Klimas gewährt die folgende Nebeneinanderstellung: „La Serena hat annähernd die Sommer von Ancona und die Winter von Catania oder Messina, Valparaiso die Sommer der Südschweiz und die Winter von Cagliari und Valdivia mitteldeutsche Sommer neben genuesischen Wintern.“ Weiter im Norden, zumal in den jüngst von Bolivia und Peru abgetretenen Landesteilen (Atacama-Wüste) verhält es sich allerdings anders; kaum wird es Gegenden geben, welche hinsichtlich einer fast absoluten Regenlosigkeit mit diesem Küstenstriche Südamerikas den Vergleich aushalten können. Dass es seit Myriaden von Jahren so gewesen ist, beweisen die massiven Guano-Lager Atacamas und der benachbarten Inselchen, auf deren Oberfläche gar keine Spuren von Erosion durch meteorisches Wasser bemerkbar ist.

Anhangsweise haben wir auch noch von den ozeanischen Annexen Südamerikas zu sprechen. Feuerland ist stürmisch und rauh, die Böen am Kap Horn werden nicht umsonst von den Seefahrern gefürchtet, und hand in hand geht mit der Ungunst des Klimas die niedrige Kultivationsstufe der dortigen Eingeborenen. Ähnlich, wennschon etwas gemässigter ist das Klima der Falklands-Inseln; hier, in Port Stanley, hat ein deutscher Kapitän, namens Seemann, seit einiger Zeit regelmässige Beobachtungen angestellt. Aus diesen erhellt, was vermutet werden musste, dass stets die Luftfeuchtigkeit einen hohen Stand mit nur geringen Schwankungen behauptet; damit hängt zusammen, dass ganz wolkenlose Tage auf der Gruppe unbekannt sind. Süd-Georgien endlich ist durch die seitens des deutschen Reiches zur Beobachtung des Venus-Durchganges dorthin entsendete Expedition unserer Kenntnis erschlossen worden. Die Wärmeverhältnisse können nicht anders als limitiert sein, doch geht kein Monat ganz ohne Frost vorüber, wie auch in jedem Monate sehr viel Regen fällt. Starke Luftdruckschwankungen bedingen auch häufige, orkanartige Windbewegungen.

*) Das Vorkommen der eigentlichen Fjorde hat Peschel infolge eingehender klimatologischer Studien dahin zu begrenzen gesucht, dass sie erst polwärts von jener Linie auftreten, an der die charakteristischen subtropischen Regen den Regen zu allen Jahreszeiten das Feld räumen. Vgl. Peschel-Leipoldt, Physische Erdkunde, 1. Band, Leipzig 1884. S. 502. Allerdings ist man über die morphologische Begriffsscheidung zwischen Fjords und anderen Buchten noch nicht so ganz einig.

**) Diese und die folgenden Notizen sind entnommen dem interessanten Werkchen von Ochsenius „Chile, Land und Leute“ (Leipzig-Prag 1884. S. 55 ff.).

IIc. Detail-Klimatographie der nördlichen gemässigten Zone.

Während für die Südhalbkugel die subtropische Zone insofern nicht so scharf sich ausprägt, als in ihren verschiedenen Teilen jede Jahreszeit die durch den Regenfall meistbegünstigte sein kann, ist auf der Nordhalbkugel die subtropische Zone durch regelmässige Winterregen und durch Regenarmut der übrigen Teile des Jahres charakterisiert. Doch ist dieses Subtropengebiet nicht etwa ein sich zusammenhängend um den Erdball herumschlingender Gürtel, vielmehr ist dieser Zusammenhang mehrfach und entschieden unterbrochen, und in der alten Welt fällt das erstere vollständig mit dem Mittelmeerbecken zusammen, wobei dieses Wort freilich als im weitesten geographischen Sinne genommen gedacht wird. Ihm wollen wir zuerst unsere Aufmerksamkeit zuwenden.

Im südlichen Teile unseres Gebietes, da wo dasselbe an die afrikanische Wüstenregion angrenzt, tritt die Neigung zur ausschliesslich winterlichen Regenbildung am deutlichsten hervor;*) die Wüste selbst wird ab und zu durch diese Winterregen, hin und wieder auch durch die aus dem Sudan nördlich vordringenden tropischen Sommerregen in geringem Masse befeuchtet. Der Sommer ist hier, in Tripolitanien, Aegypten u. s. w., so gut wie ganz regenlos, in Algerien**) und Spanien wird schon auch der Frühling in die Regenperiode des Jahres einbezogen, und in dem Masse, wie von Malta bis zum Südfusse der Alpen die Winterregen abnehmen, stellen sich Frühlings- und Frühsommerregen allmählig häufiger ein, während doch der subtropische Typus immer gewahrt bleibt. Was für die Niederschlagshäufigkeit das gilt auch für die Niederschlagsmengen; sie nehmen von Süden nach Norden und ebenso von Osten nach Westen zu, wie es die Annäherung an das Weltmeer mit sich bringt. Die Entfernung von der Mittelmeerküste bringt eine ganz ungeheuerliche Abnahme der Niederschlagsquanta mit sich; so beträgt die durchschnittliche Regenhöhe in Alexandria 215, in Kairo und Suez nur noch 30 mm. Die Südgrenze der afrikanischen Winterregen verläuft unregelmässig in der Gegend des Parallels von 30° n. Br. Bis nach Turkestan hinein greift das subtropische Gebiet, Persien hat die denkbarst trockenen Sommer, in deren Begleitung gar nicht selten Hungersnöte sich einstellen. Der Grad der relativen Feuchtigkeit und der Bewölkung hat einen dem jährlichen Gange der Niederschläge parallelen Gang.***) Was die Temperaturverhältnisse anlangt, so ist in diesen schon die Berechtigung der Einteilung des Jahres in vier besondere Zeiträume angedeutet. Der Herbst ist im subtropischen Gebiete durchschnittlich viel wärmer als der Frühling, an den Küsten tritt dieser Unterschied am bestimmtesten hervor, und unter letzteren wieder besonders an der syrisch-aegyptischen. Sehr niedrige Sommer- und Herbst-

*) Hann, S. 405.

**) Was wir von der Regenverteilung in der französischen Provinz Algier wissen, verdanken wir wesentlich den von Raulin in den verschiedenen Teilen des Küstenlandes, des Tell und des Hochgebirges eingerichteten ombrometrischen Stationen. Vgl. Généralités sur la géographie et la météorologie d'Algérie, Alger 1881.

***) Hann, S. 413.

temperaturen weisen dagegen die ozeanischen Bestandteile des Territoriums auf, besonders gilt dies von Madeira und von der marokkanischen Küste.*) Der milde Winter der dem mittelländischen Meere nächst anliegenden Länder erklärt sich wohl durch die hohe Eigentemperatur des Wassers. Dagegen nimmt das Klima der grossen Halbinseln — der pyrenaeischen und balkanischen weit mehr als der schmalen appenninischen — schon ein recht kontinentales Gepräge an, Madrid unterliegt im Juli und August einer täglichen Wärmeschwankung von über 17°. Die Jahresschwankung nimmt nach Osten hin zu, in Smyrna steigt sie schon auf 44°. Der Luftdruck hat, wie es im subtropischen Gebiete notwendig ist, im Mittel immer eine bedeutende Grösse. Nur im Winter bildet sich über dem Mittelmeere selbst eine Rinne von niedrigerem Luftdrucke aus, welche jedoch nach Lage und Kraftverteilung den grössten Schwankungen unterliegt und wesentlich für die Unbeständigkeit des Wetters im griechischen Archipelagus verantwortlich zu machen ist. Auf Nordafrika erstrecken sich die mediterranen Minima nicht, und deshalb fehlt auch die zur Regenbildung erforderliche Zyklonalbildung. Die Wüsten und Steppen Vorder- und Mittelasiens haben im Sommer konstanten Nordwind, weil im Süden ein barometrisches Minimum liegt, im Winter sind dort östliche und nordöstliche Winde vorherrschend. Die Nordgrenze dieser durch das nördliche und östliche Quartier bevorzugten Gegenden bildet jene merkwürdige Linie, welche von Woeikow die meteorologische Achse des Kontinentes genannt worden ist, und welche die Punkte relativen Druckmaximums unter den einzelnen Meridianen von 10° bis 110° mit einander verbindet.**) Von den Lokalwinden des Mittelmeerbassins sind uns Bora und Mistral bereits bekannt; als Gegensatz zur ersteren erscheint der Scirocco, der in Italien sehr häufig weht und als ein sehr warmer Südwind bezeichnet werden muss. Im südlichen Italien und in Westgriechenland ist der Scirocco dagegen ein zwar ebenfalls heisser aber trockener und viel Staub mit sich führender Wind, während dessen Regiment die Sonne in Dunst gehüllt erscheint. Ob man, wie von beachtenswerter Seite für wahrscheinlich erklärt ward, hauptsächlich mit Rücksicht auf die petrographische Prüfung der Sandpartikelchen, diese zweite Erscheinungsform des Scirocco als afrikanischen Wüstenwind zu deuten ein Recht besitzt, wollen wir an diesem Orte dahingestellt sein lassen. Ähnlich wie der Scirocco verhält sich in Spanien der Leveche; der Leste von Madeira ist ein trockener, heisser Ostwind, dessen Wehen auch auf den Canarien verspürt wird.***) Ein specifischer Wüstenwind ist derjenige, welchen man in den moha-

*) Bereits Kap Juby am westlichen Ende der Sahara darf sich eines ganz gesunden, von Malaria verschonten Klimas rühmen. Acht Monate des Jahres hindurch dominieren an diesem Vorgebirge kühle Nordostwinde.

**) Eine gute Übersicht über den Verlauf der Kontinentalachse gewährt Supans „Statistik der unteren Luftströmungen" (Leipzig 1882. S. 86 ff.).

***) Die Inselgruppe der Canarien bereitet dem Fremden manche Überraschung durch den sie auszeichnenden verschiedenen Charakter ihrer Hauptseiten. Während auf der „Brisa" heftiger Sturmwind mit Schneefall herrscht, kann es auf der „Banda" ganz heiter aussehen; diesen merkwürdigen, teilweise unserem Luv und Lee entsprechenden Zwiespalt hat Biermann näher betrachtet.

medanischen Ländern Samum oder auch wohl — in Aegypten — Chamsin nennt. Derselbe hüllt Sonne und Horizont in einen rötlichen Staubmantel und wirkt ausdörrend auf die Respirationsorgane des Menschen, die Vernichtung vieler Karawanen hat man ihm aber glücklicherweise nur mit Unrecht zugeschrieben. Das untere Mesopotamien kennt einen regelmässigen Südwestwind, der aus dem persischen Golfe Feuchtigkeit zuführt und dem italienischen Scirocco der ersten Art ähnelt. Maskat andererseits steht im Sommer unter dem Banne eines glühenden Landwindes, welcher nicht selten Temperaturerhöhungen bis zu 47^0 bewirkt. Fönwinde können im Subtropengebiete zum öfteren nachgewiesen werden.*)

Ohne uns zu tief in Einzelheiten zu versenken, glauben wir doch bei den beiden wichtigsten Kulturländern älterer Zeit, bei Italien und Griechenland, noch etwas verweilen und deren klimatischen Charakter mit ein paar Strichen zeichnen zu sollen.**) Italien in seiner Abgeschlossenheit, durch Meere und einen mauergleichen, nur durch wenige Spalten den Eintritt verstattenden Gebirkskranz als geographisches Individuum designiert, hat auch ein ziemlich einheitliches Klima, das als Haupteigentümlichkeit grosse Wärme aufzeigt, wie es denn auch zwischen den Jahresisothermen von 13^0 und 19^0 sich ausdehnt. Das Pflanzenleben erleidet durch die Kälte des Winters viel weniger als durch die Dürre des Sommers Störungen; auf Malta rechnet man der Periode der Trockenheit sechs Monate zu. Die bekannte Thatsache, dass der gemeine Italiener eigentlich nur zwei Luftströmungen als massgebend und der Beachtung würdig anerkennt (Nordwind oder „Tramontana", Südwind oder „Scirocco") kennzeichnet an sich schon, dass, mit Dove zu reden, ein Polar- und Aequatorialstrom die häufigst vorkommenden Winde sind. In Wirklichkeit ist die Analyse des Windwechsels keine leichte, weil meist drei Depressionen, eine ligurische, eine tyrrhenische und eine mittelst zungenförmiger Ausbuchtung in die Adria eingreifende jonische, sich das Terrain streitig machen. Die Regenwahrscheinlichkeit ist durch die Zugehörigkeit zum subtropischen Gebiete bestimmt, die Regenmenge ist in Italien bedeutend, am bedeutendsten längs des Südabhanges der Alpen. Man könnte fast sagen, dass ein italienischer Niederschlagstag mehr Regenwasser liefere als ein deutscher. Die Gebirgsgestaltung übt (s. o.) nach Ciro Ferrari einen gewichtigen Einfluss aus auf die geographische Verteilung der Niederschläge.***) Der Schnee-

*) Ein solcher Fön weht von den Gebirgen der ausgeprägt subtropischen Provinz Daghestan (am kaspischen Meere) herab, ein ebensolcher sucht im Winter Trapezunt heim. Letzterer Umstand, dass ein heisser Wind in der kalten Jahreszeit herrscht und noch dazu ersichtlich seinen Ursprung auf den schneebedeckten Bergen hat, war vor der Ausbildung der neueren Theorie des Fönwindes (s. o.) nicht leicht erklärbar.

**) Für Griechenland bildet unsere Quelle das schon so oft angezogene Werk von Neumann-Partsch; für Italien verfolgt und erreicht eben diesen Zweck, Vergangenheit und Gegenwart durch retrospektive Betrachtung innigst aneinanderzuknüpfen, Nissens „Italische Landeskunde" (1. Band, Berlin 1883. S. 372 ff.). Auch Schouws „Tableau du climat et de la végétation de l'Italie" (Kopenhagen 1839) besitzt noch heute Wert.

***) Ähnliche Wahrnehmungen lassen sich, wie Hellmann unlängst zeigte, auch auf der pyrenaeischen Halbinsel machen.

fall ist in der Poebene und im nördlichen Appennin ein Phänomen, mit welchem jedermann rechnen muss; durch intensive Schneebedeckung ist zumal die Gegend zwischen Ferrara und Bologna ausgezeichnet, in welcher das Steckenbleiben der Eisenbahnzüge sich fast alljährlich wiederholt. In sanitärer Beziehung kann das Klima Italiens für ein ziemlich gesundes gelten, obwohl es schwerlich, schon der nicht auszurottenden Malaria halber, die enthusiastischen Lobsprüche verdient, welche ihm dereinst Terentius Varro spendete. Gerade die Hauptstadt Rom zwingt dem sie zu längerem Aufenthalte aufsuchendem Nordländer nicht jedem zusagende Bedingungen der Akklimatisation auf; der Winter ist regnerisch und kalt*) und macht den Wunsch nach besseren als den landesüblichen Erwärmungsmitteln rege, der Sommer dagegen nötigt in den Monaten Juli und August einen grossen Teil der Bevölkerung zur Auswanderung in die vor dem Giftodem der „Aria cattiva“ bewahrten Villeggiaturen des Sabnergebirges.

Gegenüber dem wesentlich maritimen Klima Italiens muss dasjenige der hellenischen Halbinsel als ein mehr kontinentales bezeichnet werden. An der Küste zwar sorgen Land- und Seebrise für einige Ventilation, allein trotzdem ist die Sommerwärme in Attika eine ungemein hohe. Ein Thermometer, welches Julius Schmidt in einen direkt von der Sonne bestrahlten Sandhaufen steckte, gab in einem Falle 71 ^{0} an. Im Gegensatze hinzu sind die Winter, wie es eben das Binnenklima fordert, ziemlich kalt, der jahreszeitliche Unterschied der Mitteltemperaturen ist in Athen so ziemlich derselbe wie in Berlin oder Leipzig. Athen hat nur winterliche Befeuchtung, und wenn seine Bewohner auch öfters im Sommer Gewitterwolken und ferne Blitze sehen, so kommt das Wetter doch nur ganz selten zum Ausbruche. Im Sommer ist die Trockenheit Attikas ganz diejenige des kastilischen Plateaus, die Verdunstung ungeheuer, die Austrocknung der Wasserläufe (Ilyssus) eine vollständige. Im inneren Hellas (Aetolien, Phokis) sowie in Epirus sieht es schon recht kontinental aus; den Winter Thebens schildert schon der Geograph Dikaearch als einen sehr schlimmen, und als noch frostiger galt mit Recht die arkadische Hochebene, welche sogar die abgehärteten Spartaner nicht gerne betraten. Schnee fällt im Pindus-Gebirge und an dessen Luvseite genug;**) die Bergpässe waren und sind noch heute durch Schneefall oft versperrt (vgl. den Winterfeldzug der Athener gegen Dekeleia), doch ist es eine Hyperbel, vom ewigen Schnee griechischer

*) Der römische Meteorologe Tacchini erklärt, dass die Regenwahrscheinlichkeit am unteren Tiber vom November bis zum Ende des Januar eine ganz konstante sei. Im Jahre 1789 soll der Schnee in den Strassen Roms 12 Tage lang liegen geblieben sein.

**) Nach Raulin und Taylor scheint, wiewohl direkte Beobachtungen nicht vorliegen, auch Kreta von der allgemeinen Regel des Schneefalles nicht ausgenommen zu sein, indem nämlich dortige Baumpflanzungen unverkennbare Anzeichen von Schneebruch erkennen lassen. An und für sich ist diese grösste Insel des Archipelagus sehr wasserarm, den Sommer über ist die Dürre eine allgemeine, wenig unterbrochene. Nach H. Fischer verläuft die mittlere Grenze des Schneefalles an den kandiotischen Gebirgen in einer ungefähren Höhe von 700 m, an der Südseite der Insel sogar noch höher.

Gipfel zu reden. Sowohl der thessalische Olymp als auch der Ida sind im Hochsommer schneefrei. Der Pindus ist eine Regenscheide; östlich gibt es keine Landregen, sondern nur jähe Sturzregen, durch welche verderbliche Wildwasser ausgelöst werden, westlich aber kommt milder, befruchtender Regen häufiger vor. Corfu hat Tagesmaxima von 119 mm erlebt. Gegen Jannina hin verwischt sich langsam die subtropische Eigenart, der Regen hält keine bestimmten Perioden mehr ein. Ebenso wächst gegen Nordwesten die Häufigkeit der elektrischen Entladungen: Corfu hat 38, Durazzo (Dyrrhachium) 39, Jannina 48 Gewittertage im Jahre, und die „akrokeraunischen" Berge haben diesen ihren Beinamen wahrlich nicht mit Unrecht erhalten. Der Hagel tritt in den Niederungen milde, an den Gebirgshängen dagegen oft sehr verheerend auf, und dass auch das Altertum schon ihn fürchtete, wird durch die dem Staate Argolis eigentümliche Institution der „Hagelhüter" (*Χαλαζοφύλακες*) bewiesen. Von griechischen Winden war, da wir uns auf dieselben als Belege für verschiedene Sätze der meteorologischen Dynamik zu beziehen hatten, oben mehrfach die Rede; typisch für die Luftdruckverteilung im Winter sind die den Monsun kopierenden Etesien im Sommer. Im Archipel kann sich eine südnördlich gerichtete Windströmung nicht bilden, denn nach Hoffmeyer liegt während dieser Jahreszeit Griechenland eingebettet zwischen vier Depressions-Revieren, dem adriatischen, jonisch-sizilischen, zyprisch-aegyptischen und pontischen Reviere, und da zu der schon hieraus entfliessenden Komplikation der Verhältnisse auch noch unser Mangel an Vertrautheit mit den von den Depressionszentren bevorzugten Zugstrassen hinzutritt, so ist der griechische Winter sehr wenig dazu gemacht, sich in meteorologischer Hinsicht zu orientieren. Sogar die Gründe, welche gegen Ende des Dezember ein plötzliches Einschlummern der bis dahin recht steifen Meereswinde bewirken und, wie bei vielen griechischen Schriftstellern zu lesen, als „Eisvogeltage" (*Ἀλκυονίδες ἡμέραι*) eine kurzdauernde Winterschiffahrt ermöglichen, ermangeln noch der genetischen Erklärung. —

An das subtropische schliesst sich in Westeuropa, also nördlich von ersterem, das atlantische Klimagebiet an, dem wir den überwiegenden Teil Frankreichs (vom Litorale des Mittelmeeres abgesehen), Belgien und Holland, ganz Grossbritannien, Skandinavien und das nordwestliche Deutschland zurechnen dürfen.*) In Norwegen und Deutschland läuft dieses Gebiet unvermerkt ins kontinentale Klima über, doch beherrscht dieses höchstens das Gebirgs-Rückgrat der schwedisch-norwegischen Halbinsel. Im Winter nimmt innerhalb dieses klimatischen Bezirkes die Wärme nur sehr langsam mit wachsender Breite ab, ja an den Küsten wird diese Wärmeabnahme auf weite Strecken hin gleich Null oder nimmt selbst das entgegengesetzte Vorzeichen an. Die Jahresschwankung der Temperatur ist durchweg relativ gering, am geringsten um die Inselgruppe der Fär-Öer herum, etwas grösser aber fast konstant (14° bis 16°) an der norwegischen Küste. Die absoluten Minima der beiden nördlichst gelegenen Städte von Europa, Hammerfests und Vardös, sind geringer als diejenigen von Paris und Brüssel, wogegen frei-

*) Hann, S. 449.

lich in den nördlichen Kjölen auch Wintertemperaturen bis zu — 40° beobachtet worden sind.*) An vielen Orten des in Rede stehenden Gebietes ist nicht der Januar sondern der Februar der kälteste Monat im Jahre. Ganz ungewöhnlich mild ist der Winter in den schmalen, vor rauhen Seewinden geschützten Fjorden Norwegens. Man ersieht aus diesen Angaben, wie verschieden in dem uns zur Zeit beherbergenden Gebiete solares und wirkliches Klima sind, man sieht auch weiter, wie unrichtig es wäre, allein die Wärmeverhältnisse zum Masstabe bei der Beurteilung des Klimas zu nehmen. Hinsichtlich der ersteren zeigt z. B. das schon subpolare Thorshavn auf den Fär-Öer grosse Verwandtschaft mit Riva am Garda-See,**) und doch kann man sich kaum verschiedenere Klima-Formen denken.

Wenn wir die Regenverteilung ins Auge fassen, so fällt für Frankreichs Küste, worin sich eben noch ein Nachklang subtropischer Eigentümlichkeit kennzeichnet, die Hauptregenzeit in die Monate Oktober und November; das Binnenland besitzt bereits eine zeitlich gleichmässigere Verteilung der Niederschläge. Innerhalb der Küstenländer der Nordsee vollzieht sich der Übergang von den winterlichen zu den vorwaltenden sommerlichen Regen. Sehr gleichförmig befeuchtet ist die norwegische Westküste, während Schweden in dieser Beziehung mehr dem kontinentalen Typus sich anbequemt. Dass in Skandinavien wie auf den britischen Inseln die im Luv warmer Luft- und Meeresströmungen gelegene Westseite reichlicher als die Ostseite bewässert werden muss, liegt auf der Hand. Die Bewölkung längs der Küsten ist immer eine namhafte, wie denn auch die Luft sich meist nicht viel von ihrem Sättigungsgrade entfernt.

M i t t e l e u r o p a s K l i m a weicht in gewissen Grundzügen von dem vorher gekennzeichneten deshalb ab, weil das Meer seinen direkten Einfluss nicht mehr so weit landeinwärts geltend zu machen vermögend ist. Zwar wäre es falsch, jetzt schon von einem eigentlichen Kontinentalklima zu sprechen, vielmehr sind maritime und kontinentale Eigenschaften hier, je nach topischen Besonderheiten, mit einander vermengt. Mit dem Worte „Mitteleuropa“ fassen wir zusammen den weitaus überwiegenden Teil des deutschen Reiches, die Schweiz mit Ausnahme des wesentlich subtropischen Kantons Tessin, Österreich-Ungarn ohne die Küstenländer am adriatischen Meere und etwa noch Kongress-Polen. Betreffs der Wärmeverbreitung haben wir nach S u p a n***) in Deutschland fünf Gebiete nach den Werten der — in Klammern beigesetzten — mittleren Jahrestemperatur zu unterscheiden: das rheinische (über 9°), das mitteldeutsche (8—9°), das ostdeutsche (6—8°), das Böhmen und die Mittelgebirgsländer mit einbegreifende alpine (meist unter 8°), endlich das keilförmig in das letztgenannte sich einschiebende danubische. Das

*) Norwegens Klima gehört, dank der Thätigkeit der Zentralstation in Christiania, zu den best erforschten; M o h n hat von 48 Stationen die Temperatur-, von 30 Stationen die Luftdruckbeobachtungen bearbeitet.

**) H a n n, S. 461.

***) S u p a n, Begleitworte zu den Klimakarten von Deutschland, Verhandlungen der Leipziger Gesellschaft für Erdkunde, 1883.

mittlere Rheinthal (bei Mainz und Wiesbaden) steht im schärfst markierten Kontraste zur ostpreussischen Seenplatte. Im Alpengebiete stossen wir natürlich auf sehr grosse Verschiedenheiten in der Austeilung der Sommer- und Wintertemperatur. Südtirol und das ungarische „Alföld“, letzteres eine der Kornkammern Europas, sind bereits mit einer subtropischen Sommerwärme ausgestattet.*) Die Regenverteilung hat einen gemässigt kontinentalen Charakter; mit der Entfernung vom Meere nehmen die Frühjahrs- und Herbstregen zu, die Herbst- und Winterregen ab. Die ungarische Niederung lässt ein doppeltes Maximum der Regenhäufigkeit hervortreten; auch in Böhmen tritt dies und sogar mitunter noch ein drittes März-Maximum auf**), welches jedoch von der Höhenlage sehr abhängig zu sein scheint. Mit am gründlichsten vor allen Ländern der Erde ist Deutschland durch die Untersuchungen v. Moellendorfs, van Bebbers und zuletzt Toepfers ergründet, sowohl mit bezug auf die Häufigkeit als auch mit bezug auf die Quantität der Niederschläge. Die drei genannten Gelehrten ermittelten für die jährliche Regenhöhe Deutschlands die drei unter sich ganz gut übereinstimmenden Zahlwerte von 67,71 und 66 cm. Ganz vertrauenswürdig ist dieses Resultat jedoch trotzdem nicht, freilich nicht etwa deshalb, weil es bei der Zusammenstellung der einzelnen Daten an Fleiss und Sorgsamkeit gefehlt hätte, sondern lediglich aus dem Grunde, weil früher, ehe man die Bedingungen für die Aufstellung des Regenmessers (s. d. erste Hauptstück) gehörig studiert hatte, genaue ombrometrische Messungen eigentlich nur durch Zufall hatten gelingen können.***)

*) Hann, S. 478.

**) Studnička, Grundzüge einer Hyëtographie des Königreichs Böhmen, Prag 1887. S. 72. Die verdienstliche Schrift führt auch einen Nebentitel, aus dem hervorgeht, dass sie als einer der Rechenschaftsberichte der Kommission für die naturwissenschaftliche Durchforschung Böhmens angesehen sein will. Für Anlage von Regenbeobachtungsstationen ist in diesem Lande schon seit geraumer Zeit sehr vieles geschehen, 700 „ombrometrische Stationen“ haben das Material zu dem von Studnička ausgearbeiteten Berichte geliefert.

***) Die Abhandlung, in welcher Hellmann dies nachwies, darf eine über ihren unmittelbaren Zweck hinausgehende Bedeutung für sich in anspruch nehmen (Beiträge zur Kenntnis der Niederschlagsverhältnisse von Deutschland, Meteorol. Zeitschr., 3. Jahrgang. S. 429 ff. S. 473 ff.). Man hatte die Ombrometer in ganz Mecklenburg falsch (zu hoch) angebracht und somit viel zu kleine Niederschlagsquanta erhalten. Theoretisch legte man sich dies Ergebnis mit Dove in der Weise zurecht, dass man annahm, der Harz habe all den über die Ostseeländer hinstreichenden Winden ihren Wasserdampf gänzlich entzogen. Nun kann und soll ja jenem vorgeschobenen Gebirge seine anerkannte Eigenschaft, kondensierend zu wirken, keineswegs genommen werden, allein sehr viele Westwinde müssen doch offenbar auf mecklenburgischen Boden gelangen, ohne den Harz auch nur im entferntesten zu streifen. Solche und ähnliche Erwägungen veranlassten Hellmann, die von Toepfer gewonnenen Resultate einer nochmaligen Revision zu unterziehen, und da fanden sich denn so manche notwendig anzubringende Korrektionen. Hiernach gibt es in Norddeutschland, wenn als Charakteristikum eine Regenmenge unter 50 cm gilt, nur drei eigentliche Trockenheitsgebiete, bei Thorn, Bernburg und Riesa an der Elbe, in Süddeutschland ist das regenärmste Gebiet das westliche Rheinhessen. Relativ regenreiche Distrikte (über 100 cm) sind 20 in Deutschland verstreut, und zwar trifft die grösste absolute Regenmenge im Jahre auf die südlichen Vogesen und auf das Bad Kreuth im bayerischen Gebirge (200 cm und mehr).

In Rücksicht auf Feuchtigkeit und Bewölkung bietet das mitteleuropäische Klima nichts besonders merkwürdiges dar.*)

Eurasien, wie wir mit E. Suess die geologisch zusammengehörige Landmasse Europas und Nordasiens nennen wollen, verbreitert sich immer mehr, je weiter man nach Osten fortschreitet, und so dürfen wir denn auch von dem eurasischen Klimagebiete, welches das europaeische Russland (ohne Polen) und das westliche Sibirien in sich aufnimmt, erwarten, dass es so recht kontinental wie nur möglich sein werde. Als Ostgrenze mag das Thal des Jenissei, als Südgrenze die nördliche des subtropischen Gebietes gelten.**) Die mittleren Jahrestemperaturen in diesem kolossalem Landkomplex variieren naturgemäss bedeutend, nach Wild zwischen — 4, 5° (Beresow) und + 17,7° (nahe dem kaspischen Meere), aber der thermale Grundcharakter verbleibt doch allenthalben einundderselbe. Heisse Sommer wechseln regelmässig mit kalten Wintern, welche in den Tundren von Sibirien in den bekannten entsetzlichen Frösten ihren Höhepunkt erreichen, auch wo der Polarkreis noch mehrere Breitengrade entfernt ist. Die menschliche Gesundheit würde unter solcher Kälte empfindlich leiden, wenn nicht die ganzen Lebensgewohnheiten der Bewohner darauf eingerichtet wären.***) Einige von Hann †) mitgeteilte Zahlen über die Gegensätze, welche an verschiedenen Orten Russlands die Temperatur eines bestimmten Wintermonates erreicht, vergewissern zugleich über die Richtigkeit des Satzes, dass die Eigenart des Kontinentalklimas mit der Entfernung vom Weltmeere immer bestimmtere Formen annimmt:

Archangelsk	29,7°	Kasan	29,4°	Beresow	35,0°
Ustsyssolsk	30,5	Orenburg	28,4	Bogoslowsk	38,6
Moskau	27,4	Irgis	31,0	Jenisseisk	39,9
Kursk	25,8	Barnaul	37,4	Ischim	32,7

Die Niederschläge erfolgen in Russland und Sibirien, soweit ihre Verteilung über das Jahr in frage kommt, sehr gleichförmig, und zwar ist der Sommer die bevorzugte Jahreszeit. Die Niederungen empfangen in der kalten Zeit wenig meteorisches Wasser, erst im Hügellande wird der Schneefall stärker. Das jetzt russisch gewordene Turkestan hat dagegen vorwiegend Winterregen, und es lässt sich vorläufig nicht mit

*) Hann, S. 486.

**) Ein schmaler Küstenstrich am Pontus gehört der subtropischen Zone an. Dafür sprechen deutlich genug die Beobachtungen Klossowskys, welchen zufolge in Odessa sehr lange Dürreperioden alljährlich einfallen, und zwar immer dann, wenn nördlich von der Stadt das Zentrum einer grossen, stationär gewordenen Antizyklone sich befindet. Die längste Periode dieser Art umfasste 46 Tage.

***) Sowohl die Kleidungs- wie nicht minder die Heizungsweise der Russen ist in ihrer Art das vollkommenste, was sich denken lässt; ja man kann sagen, dass in den grossen Städten, vorab in St. Petersburg, das ganze innere und äussere Leben sich nach den Thermometergraden richtet, wie dies Kohl in seinen bekannten Schilderungen aus Russland so überaus anschaulich darzulegen verstanden hat. Und dabei entspricht dem fast sibirischen Winter des finischen Meerbusens ein italienischer Sommer mit sehr hellen Nächten, während deren das Innere der Häuser ganz zu gunsten des Lebens im Freien vernachlässigt zu sein scheint. Die Beziehungen das Kontinentalklimas zu Sitte und Gewohnheit des Volkes können nicht augenfälliger demonstriert werden.

†) Hann, S. 502.

Sicherheit angeben, wo sich der Ausgleich zwischen den in hyetographisch so verschiedenen beschaffenen Territorien vollzieht; schärfer ist die Grenze weiter im Westen, denn hier bilden die Gebirge der Halbinsel Krim eine offenkundige Scheide zwischen den sommerlichen und winterlichen Regen. Auch die südrussische Steppe hat Sommerniederschläge mit einem Maximum im Juni, und nicht der Regenmangel ist es, wie wir durch Woeikow belehrt wurden,*) welcher die Steppen Südrusslands zu dem macht, als was wir sie erblicken, sondern gerade der Umstand ist dem Aufkommen einer höher gearteten Pflanzendecke hinderlich, dass die in Form heftiger Platzregen niedergehenden Wassermassen rasch abfliessen und nicht in die Tiefe eindringen. Die trockensten Gegenden unseres Gebietes sind die Kirgisensteppen, am Aralsee ist die durchschnittliche Wolkenbedeckung des Firmamentes nur = 0,3. Im Inneren Sibiriens sind undurchdringliche Frostnebel („Morók") eine häufige Erscheinung; dieselben entstehen namentlich in der Nähe offener Stellen in der Eisdecke der Flüsse. Im Winter erstreckt sich bis an den Jenissei das Gebiet der Südwest- und Westwinde,**) im Sommer aber macht die über Asien bis dahin gelegene Zyklone einer Antizyklone platz, und nunmehr dringen nasskalte nördliche und nordöstliche Winde vom Polarmeere her in das Gebiet der hohen Sommerwärme (s. o.) ein. Sehr gefürchtet sind die Burane, Wirbelstürme, welche den meist lockeren Schnee in dichten Massen vor sich hertreiben und völlig dem Samum Arabiens vergleichbar sind.***) Auf der Polarseite der Waldgrenze ist nach v. Middendorff der wahre Tummelplatz dieser Stürme und „Schneehosen."

Das ektropische Ostasien darf als ein für sich bestehendes Klimagebiet betrachtet werden, welches sich ohne die Vermittlung eines eigentlich subtropischen Zwischengürtels an dasjenige der Tropen im Süden anschliesst. Vom Jenissei ab ist der bisher in minimalen Zügen noch nachweisbare Einfluss des atlantischen Ozeans total verschwunden; über Ostasien lagert im Winter das ausgedehnteste und konstanteste Barometermaximum, welches man kennt,†) und dem entspricht ein heiterer, trockener Winter. Die Küstenländer am Pazifik, das nördliche China

*) Wie notwendig diese Richtigstellung war, und in welchem Irrtume selbst ausgezeichnete Forscher betreffs des klimatischen Charakters von Kleinrussland sich befanden, geht aus folgendem Satze Peschels (Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, 3. Auflage, Leipzig 1878. S. 189) hervor: „Südrussland gehört trotz seiner winterlichen Schneestürme schon zum subtropischen Gürtel Europas, denn die periodischen Winterregen steigen dort, wie Mühry nachweist, bis zum 50. Breitengrade, wenn auch undeutlich."

**) Hann, S. 513.

***) Aus den Prairien von Nordamerika, innerhalb deren ganz ähnliche Schnee-Tornados vorkommen, wurde jüngst von einem derartigen Sturme berichtet, in welchem mehrere Menschen ihr Leben verloren. Und zwar war der Tod dadurch herbeigeführt, dass die Schneekrystalle in dichter Menge in die Luftröhre eindrangen und die Respiration unmöglich machten.

†) In dieser ihrer Eigenschaft als meteorologisches Unikum ist diese Antizyklone zuerst durch Woeikow erkannt worden. Die Thäler, in deren Banne die Luft stagniert, sind dann ebenso meist kälter denn die Höhen, wie wir dies weiter oben als eine winterliche Eigentümlichkeit unserer Ostalpen kennen gelernt haben, und gleicherweise findet man über den besser ventilierten Tundren eine grössere mittlere Wärme als über der Waldregion.

mit eingerechnet, werden von trockenen Landwinden beherrscht, welche von jenem Maximum her nach dem barischen Windgesetze auf das pazifische Minimum zu strömen, und es dringt in deren Gefolge das kontinentale Klima noch ein gutes Stück ins eigentliche Meer vor, den japanischen Inseln den Typus seiner Sonderart aufprägend. Im Sommer verändert die Vertauschung der Plätze von Depression und Elevation die Verhältnisse vollständig, über Ostasien waltet jetzt ein von der See herein wehender Monsun, der Sommerregen mit sich bringt. Ostsibirien ist sogar durch seine energischen sommerlichen Niederschläge in nicht eben vorteilhafter Weise bekannt. Im Winter suchen das, wie wir schon wissen, dem Kältepole benachbarte östliche Sibirien die schlimmsten Kältegrade heim, ohne dass dadurch einer reichen, selbst üppigen Entwickelung der Vegetation des Sommers irgend vorgegriffen würde. Merkwürdigerweise aber fehlt es auch in der kältesten Jahreszeit, wie Erman und F. Müller selbst zu erleben in die Lage versetzt wurden, nicht an Gewittern und Hagelschlag. Am ochotskischen Meere ist die Feuchtigkeit und mit ihr die Trübung der Luft weit bedeutender als sonstwo im weiten sibirischen Lande.

Über China lagen bis vor kurzem auch von den Meeresstrichen nur die allerdings sehr verdienstlichen Beobachtungsregister von Peking und Shanghai vor, nebst einer Anzahl gelegentlich von unternehmenden Reisenden gemachten Erfahrungen. Im südlichen China reicht der Südost-Monsun samt den Sommerregen ziemlich weit landeinwärts. Eine der bemerkenswertesten Erscheinungen ist nach Thirring die Konstanz der grossen Sommerwärme an den Küsten von Korea bis Kanton und Hainan, über einen Raum von gegen 20 Breitengraden hinweg, wogegen auf eben diesem Raume die Winterkälte den denkbar grössten Schwankungen unterliegt. Äusserst kontinental ist schon der Theorie, aber auch Prshewalskis bestätigenden Nachrichten zufolge das Klima von Tibet und Chinesisch-Turkestan; besonders strenge tritt unter dem Einflusse kalter Westwinde der Winter an der tibetanischen Nordgrenze auf. Dort fällt auch nur sehr wenig Regen und Schnee, doch erhalten die Ebenen gleichwohl ziemlich reichlich Flüssigkeit durch das Schmelzen des die Berge bedeckenden massigen Schnees zugeführt. Shaw, einer der wenigen mit den Plateaux Hochasiens durch eigene Anschauung bekannt gewordenen Europaeer sagt*) in dieser Beziehung mit Bezugnahme auf eine Stelle bei Herodot: „Am Nachmittage erhebt sich plötzlich ein fürchterlicher, tötlich kalter Wind ... Während so der Reisende sich vor der Kälte des Nachmittages schützt, glaubt er kaum, dass er sich noch in demselben Lande befinde, wo er am Morgen sich gegen den Sonnenstich verwahrte und von dem unerträglichen Glanze fast blind wurde.“ In der Ebene von Yarkand hinwiederum sind die Temperaturschwankungen viel geringer. Mit Korea hat sich Woeikow so eingehend beschäftigt, als es ihm die geringfügigen empirischen Daten erlaubten; danach steht diese Halbinsel unter der regelmässigen Herrschaft des Monsuns, die Ostküste ist durchschnittlich wärmer als die Westküste,

*) Shaw, Reise nach der hohen Tatarei, Yarkand und Kaschgar und Rückreise über den Karakorum-Pass, deutsch von Martin, Jena 1872. S. 6.

der heisseste Monat im Jahre ist der August, wahrscheinlich der alsdann auf das höchste gesteigerten Wasserwärme wegen. Japan ist uns insbesondere durch die Forschungen von Rein*) bekannter geworden. „Das Klima von Japan zeichnet sich gegenüber von jenem der Ostküste Asiens unter gleicher Breite aus durch eine wesentliche Milderung der Winterkälte, reichlichere Niederschläge und eine weniger scharf ausgesprochene Periodizität derselben, woran auch die Bewölkung und Feuchtigkeit teil nehmen.“**) Die erwärmende Einwirkung des „schwarzen Stromes“ (Kuro Schio) wird in Nipon aus dem Grunde viel weniger verspürt, als man es im allgemeinen von Meeresströmungen gewohnt ist, weil (s. o.) die Winde regelmässig Landwinde sind; auch von der Küste von Jeso werden die warmen Meeres- und Luftströme durch diese kontinentalen Luftströmungen ferne gehalten. — Hiemit sagen wir der alten Welt valet und wenden uns der neuen, d. h. dem zwischen den Wende- und Polarkreis eingelagerten Teile Nordamerikas zu.

Das gemässigt-nordamerikanische Klima bildet sonach unsere letzte Station vor Erreichung der zirkumpolaren Regionen.***) Einheitlich ist dasselbe nicht, zwar fällt der charakteristische Gegensatz zwischen subtropischen und subpolaren Gebieten hier beinahe gänzlich fort, dafür aber sind, dem orographischen Bau des Kontinentes angepasst, drei distinkte Klimagebiete mit meridional verlaufenden Grenzlinien zu unterscheiden: der sehr breite Strich zwischen der atlantischen Küste und der Bodenerhebung westlich vom Mississippi, das Plateauland der Rocky Mountains und der Sierra Nevada und endlich der kalifornische Küstensaum. Innerhalb des erstgenannten Gebietes ist der sonst so auffallende Unterschied zwischen See- und Binnenklima kein recht greifbarer, die kühlen Sommer eignen nur den nördlichen Neuengland-Staaten und den an diese grenzenden britischen Besitzungen. Die Hochlande im Westen, zwischen welche ja (in Utah und Arizona) echte Wüsten eingebettet sind, haben ein rauhes und trockenes, jähen Sprüngen ausgesetztes Klima mit schwachen Niederschlägen. Die pazifische Zone verhält sich einem deutlich ausgeprägten Küstenklima gemäss,†) im Süden wird die Regenverteilung eine ganz subtropische, aber überhaupt ist am Uferrande des grossen Ozeanes der Regen ausgiebiger im Winter als im Sommer. Am atlantischen Ozeane ist die überaus schnelle Änderung mit der Breite das bemerkenswerteste Phaenomen, im Jahresmittel kommt dem Raume zwischen dem schon ganz tropischen Florida und dem schon subpolaren Labrador, einem Raume von dreissig Meridiangraden, eine Temperaturveränderung von 0,95° pro Grad zu. Der warme mexikanische Golf und das häufige Vorkommen von Südwestwinden

*) Rein, Das Klima von Japan, Programm der Universität Marburg, ebenda 1876.

**) Hann, S. 540.

***) Eine der besten klimatologischen Übersichten gewährt das Werk von Ratzel: Physikalische Geographie und Naturcharakter der Vereinigten Staaten von Nordamerika, München 1878.

†) Der Regenlosigkeit verdanken, wenn Duttons Theorie das richtige trifft, jene grossartigen Erosionsthäler am Colorado ihr Dasein; solche Cañons bilden sich nämlich immer dann, wenn sehr wasserreiche Ströme ihren Weg durch felsiges, niederschlagsarmes Terrain nehmen.

tragen zu diesem Wärmeüberschusse des Südens das meiste bei. Im Mississippithale ist die Abnahme der Wärme mit wachsender Breite schon eine etwas langsamere. Sehr gewichtig machen sich allerorts in Nordamerika die exzessiven unregelmässigen Temperaturschwankungen fühlbar, welche das Fortkommen exotischer Gewächse auf dem weiten Gebiete der Union sehr erschweren, wonicht ganz unmöglich machen. Durch starken Schneefall ist besonders Canada berühmt, im trockeneren Binnenlande nimmt die Anzahl der Schneetage wie die Dicke der Schneedecke fortwährend ab. Ein ombrometrisches Maximum findet sich über dem pazifischen Küstenstriche von Britisch-Kolumbien, während es weiter nördlich, in dem vormals russischen Gebietsanteile, wieder weniger zu regnen pflegt. In Nevada, Utah und Süd-Kalifornien sinkt gegenteils die jährliche Regenhöhe auf 20 cm herab! Charakteristisch für die Sommerzeit Nordamerikas sind die heftigen Wirbelwinde oder Hurriranes (s. o. im zweiten Hauptstücke); sehr gefürchtet ist auch der der Bora verwandte Norther, der bei energischer Luftauflockerung über dem mexikanischen Meerbusen dorthin aspiriert wird. Über die keinen Schutz darbietenden Prairien des Zentralgebietes brausen solche Stürme mit besonders verheerender Kraft dahin; im übrigen ist sonst das Klima dieser weiten Grasfluren ein gesundes, die Luft ist rein, Wolken und Thau fehlen in mehreren Monaten gänzlich. — Zu Nordamerika gehören geographisch auch die der Krone England unterstehenden Bermudas-Inseln im Atlantik; ihr Klima ist wenig erfreulich,*) „eine Mischung zwischen den kalten Nebeln New-Foundlands und dem Scirocco Maltas gäbe eine genaue Bezeichnung desselben.“

IIIa. Allgemeine Charakteristik des Klimas der Polarzonen.

Vom Klima der antarktischen Zone ist uns wenig sicheres bekannt, doch weiss man, dass Sommertemperatur und sommerlicher Luftdruck um den Südpol herum sehr niedrig sind; das ganze Gebiet steht unter dem Banne einer mächtigen barometrischen Depression, deren Zentrum eben nicht sehr entfernt vom Pole zu suchen sein dürfte.**) Soweit sich heute urteilen lässt, gehen die Bahnen der sekundären Zyklonen noch südlich von den wenigen Beobachtungsstationen vorüber, welche Europa am aequatorialen Rande des südlichen Eismeeres etabliert hat.

Zur Beurteilung des arktischen Klimas steht uns aus Reisebeschreibungen ein reicher Stoff zu gebote. Als Haupteigentümlichkeit jeder Polarzone muss natürlich die gelten, dass die Sonne je einen zusammenhängenden Teil des Jahres hindurch unter und über dem Horizonte verweilt. Dadurch muss es geschehen, dass

*) Hann, S. 608.

**) Man hat die vorhandenen meteorologischen Berichte aus dem Südmeere zu Rückschlüssen auf die Beschaffenheit der südpolaren Erdhaube zu verwerten gesucht. Allen voran hat Petermann die Luftdruckverteilung für einen direkten Beweis für die ozeanische Natur jenes Gebietes erklärt. Vgl. hierüber und über die grundsätzlich verschiedenen Ergebnisse geologischer Folgerungen H. Reiter, Die Südpolarfrage und ihre Bedeutung für die genetische Gliederung der Erdoberfläche (Weimar 1886. S. 21 ff.).

dieser Teil der Erde die niedrigsten Jahrestemperaturmittel aufweist, während das Maximum der Winterkälte nicht in die polare Kalotte selbst sondern in deren südlichen Rand (Kältepol bei Werchojansk) fällt. Das Mass der direkt-solaren Bestrahlung ist für einen dem Pole benachbarten Punkt während eines Tages der Sommermitte ungemein gross, ungleich grösser als am Aequator, allein erstlich ist der Neigungswinkel, unter welchem die Strahlen einfallen, niemals gross, und zweitens muss unaufhörlich viel Wärme zur mechanischen Arbeitsleistung des Schnee- und Eisschmelzens sich verwenden lassen. So ist denn der Sommer bei aller Energie der Sonnenstrahlung kühl und kurz, vermag aber doch unter günstigen Umständen einer lebhaften Vegetation das Leben zu verleihen*); vorzugsweise sucht dieselbe geneigte Hänge auf, von denen das Schneewasser rasch abfliesst, und welche auch von den Sonnenstrahlen unter einem grösseren Winkel, vielleicht sogar lotrecht, getroffen werden. Als ein günstiger Faktor muss auch neben der Lufttemperatur die eigentliche Strahlungswärme betrachtet werden, welche nach Kane bis zu 21⁰ zu steigen und selbst dann, wenn das geschützte Thermometer auf — 33⁰ steht, noch den Schnee in nächster Umgebung eines dunkeln Festkörpers zu schmelzen vermag.**) Der jährliche Wärmegang wird dadurch charakterisiert, dass das Frühjahr sehr hinausgeschoben, der März***) und teilweise sogar der April der kälteste Monat des Jahres wird. Die regelmässige tägliche Wärmeänderung ist während der „ewigen Nacht“ eine kaum merkliche, nur an einzelnen Orten, besonders im Rensselaer-Hafen durch Kane, konnte das konstatiert werden, was Dove mit bezeichnendem Ausdrucke Wärmedämmerung genannt hat: um die Mittagszeit stieg das Quecksilber im Wärmemesser regelmässig um einen halben Grad. Die relative Feuchtigkeit ist meist gering, Halls Expedition vermochte dieselbe nicht selten mittelst eines Daniellschen Hygrometers gar nicht mehr zu messen. Im Winter fehlt der Nebel dem Lande gänzlich, wohlbegrenzte Wolkenformen erinnerte sich Parry im Verlaufe seiner mehrfachen Überwinterungen kaum gesehen zu haben, dafür verraten sich Lücken im Eise („Waken“) durch die ihnen entsteigenden Frostnebel. Auch Niederschläge fallen spärlich, wennschon die Luft gewöhnlich mit feinen Eisnädelchen (Diamantstaub) erfüllt ist. Stürme kommen nur in dem an Nordeuropa angrenzenden Teile des Polarmeeres häufiger vor. Das Klima ist ein für den menschlichen Organismus

*) Wohl das zuverlässigste über polare Flora (und auch Fauna) findet man in den Berichten der Botaniker, welche A. E. v. Nordenskiöld auf seinen Fahrten begleitet und ihre Funde und Ansichten in dessen Werke „Studien und Forschungen“ (Leipzig 1884) niedergelegt haben.

**) Kane und andere Nordpolfahrer benützten das physikalische Gesetz, dass schwarze Gegenstände besonders viel Wärme absorbieren und durch Leitung auf ihre nähere Umgebung übertragen, zum Beschleunigen des Schneeschmelzprozesses, indem sie nämlich dunkle Tücher auf den Schnee legten; dieselben sanken rasch ziemlich tief ein.

***) In seiner ergreifenden Schilderung der Schicksale, welche ein Teil der Begleiter Halls auf treibenden Eisschollen über sich ergehen lassen musste, sagt Bessels (Die amerikanische Nordpolexpedition, Leipzig 1879. S. 426) u. a.: „Der März war gekommen und mit ihm die intensive Kälte, welche dem Anfange dieses Monates eigen ist.“

geeignetes, Bakterien und sonstige Krankeitsträger kennt die Atmosphäre nicht, ja man hat sogar (Ewall) bereits die Anlage von Gesundheitsstationen auf Spitzbergen in vorschlag gebracht. Immerhin bedarf es ernstlicher und durchdachter Vorkehrungen gegen die als gefährliche Dyskrasie auftretende „Malaria der Eiswelt“, den Skorbut oder Scharbock, sowie gegen die Störungen, welche auch ein eisernes Nervensystem unter dem Einflusse andauernder Helligkeit und Finsternis zu erleiden hat.*)

III b. Detail-Klimatographie der nördlichen kalten Zone.

Wir gehen von Island aus, dessen nördlichste Auszackungen noch über den Polarkreis weg ragen. Viele klimatische Züge dieser Insel gemahnen noch an den Nordwesten Europas, doch liegt jene bereits jenseits der warmen atlantischen Meeresströmung, und ihre Windverhältnisse signalisieren den Übergang zu denjenigen Ostgrönlands.**) West- und Südwestwinde bilden bereits eine Ausnahme. Zwischen Island und Grönland, in der Dänemark-Strasse, begegnen wir dem Eis mit sich führenden Strome, welcher vom hohen Norden kommt und nach Süden geht; wenn auch die Bodenrinne, welche dieser Strom, vielleicht unter Mitwirkung seiner Eismassen***), sich gegraben hat, nach Mohns Lotungen erst nördlich vom isländischen Plateau sich einsenkt, so erreicht die Eisdrift doch unter Umständen die Insel selber, und dann wird die von den Ostwinden zugeführte Wärme in bekannter Weise konsumiert. Anno 1866 und 1882 traf dies wirklich ein und hatte beträchtliche Herabsetzungen der Temperatur zur Folge. Die Niederschläge begünstigen den Winter, und insbesondere gilt dies auch für die Gewitter. Schnee fällt häufig und in beträchtlicher Menge, nur August und September bleiben mehrenteils schneefrei. Der Luftdruck weist starke, unregelmässige Schwankungen auf.

Das östliche Grönland ist klimatisch von dem kalten Polarstrome beeinflusst und unverhältnismässig rauher als das westliche. Die Luft daselbst ist trocken, die Bewölkung gering (durchschnittlich nicht 50 %) heftige Nordwinde walten vor und wirken als gefährliche Stürme. Noch kälter freilich, wennschon mit minderer Geschwindigkeit begabt, sind die vom übereisten Binnenlande her wehenden Winde. Die Drehung des Windes ist meist eine der in Europa vorkommenden entgegengesetzte. Ähnlich, nur etwas ozeanisch gemildert, gestalten sich die Verhältnisse auf Jan Mayen.

Die Bären-Insel und Spitzbergen liegen noch im Bereiche der warmen nordatlantischen Drift, sind also relativ ganz warm. Auf ersterer ist nach Tobiesen das Jahresmittel der Temperatur um 6° höher als auf der unter gleicher geographischer Breite gelegenen Sabine-Insel. In

*) Geeignete Mittel zur Bekämpfung dieser Seuche sind durch die auf gründlicher Selbsterfahrung beruhenden Studien eines Kane, Hayes, Nares und ganz besonders v. Nordenskiöld ausfindig gemacht worden.

**) Hann, S. 713 ff.

***) Über die Fähigkeit treibender Eisberge von grosser Mächtigkeit, sich selbst Rinnen zu graben und Furchen im Meeresgrunde auszuhöhlen, scheinen zuerst von Charles Darwin (Philosophical Magazine, 1855) Untersuchungen angestellt worden zu sein.

der kalten Jahreszeit ist natürlich der Temperaturgang sehr unregelmässig, auch scheinen sich im europäischen Eismeere die grössten überhaupt auf unserer Erde nachgewiesenen Luftdruckschwankungen vorzufinden. Nicht minder ist die Variabilität der Windrichtungen eine überaus grosse, weil die Depressionen auf jeder Seite Spitzbergens vorübergehen. Im Sommer konnte Martins, von dem die längste uns bekannte Beobachtungsreihe herrührt, eine sehr gleichmässige Wärmeverteilung erkennen, die höchste gemessene Temperatur war 16°. Schnee und Nebel fehlen zu keiner Zeit des Jahres. Die Schneegrenze an den Abhängen liegt ziemlich hoch, wie denn auch die Vegetation, der Insolationsstärke entsprechend, eine grosse Höhe über dem Meere erreicht. Je mehr man sich dem Pole nähert, um so kräftiger wird die Gletscherentwicklung.

Novaya Semlja bildet die Scheidegrenze zwischen dem fast eisfreien europaeischen Nordmeere und dem karischen „Eiskeller“.*) Die Ostküste ist demnach, hier wie bei Grönland, die bei weitem kältere, und an der karischen Pforte sank das Thermometer schon bis auf — 40°. Regen ist in Novaya Semlja zur Winterszeit unerhört**), Pachtussow konstatierte bei seinem Winteraufenthalte daselbst einen 217 Tage ununterbrochen andauernden Frost. In dem noch weiter nördlich gelegenen Franz-Josephs-Land waren nach Payer die Temperaturextreme + 10,4° und 45,9°.

Für das polare Asien ist kontinentaler Temperaturgang, schroffe Winterkälte und verhältnismässig hohe Sommerwärme kennzeichnend. v. Middendorff sagt vom Winter des Taimyrlandes, er habe einen Kern, der weiter westlich vorkommende Wechsel zwischen höheren und tieferen Temperaturen sei hier so gut wie unbekannt. Der Sommer ist auch hier ein ganz milder, und gegen die Lena-Mündung hin rücken die Extreme weiter auseinander.***) Nordwind bringt Nebel und Frostrauch mit sich. Sehr merkwürdig gestaltet sich v. Wrangells Angaben zufolge die Vegetationsperiode in Kolymsk. Zu Ende Mai beginnt das Treiben der Weidengebüsche, im Juni und Juli gibt es Beeren und Blumen bei 20° bis 22° Mittagstemperatur. Dann kommen auch Sommergewitter vor. Im September hebt der Winter an, welcher volle neun Monate dauert. Vom Ausflusse der Kolyma gegen Osten hin rücken die Extreme einander wieder näher, und eine über der Berings-Strasse lagernde Zyklone gibt zu Nordwinden mit begleitenden Schneeniederschlägen Veranlassung.

Von dem Archipel „der nordwestlichen Durchfahrt“ ist bekannt, dass der wärmste Monat durchgängig der Juli, der kälteste der Februar

*) So nannte K. E. v. Baer das karische Meer, allein norwegische Seefahrer, an ihrer Spitze Tobiesen und Johannsen, haben die Nichtigkeit der Annahme dargethan.

**) Es wäre zu wünschen, dass ebenso, wie (s. o.) die aequatoriale Grenze des Schneefalles ermittelt ward, auch auf die Festlegung der Linie Fleiss verwendet würde, jenseits deren, gegen die Pole hin gerechnet, tropfbar flüssige Ausscheidungen nicht mehr vorkommen.

***) Das Klima an der unteren Lena hat Woeikow näher untersucht. Die grosse Anzahl völlig sonnenloser Tage scheint ihm die dortige Lage der Dinge am besten zu kennzeichnen.

und wohl auch gelegentlich der März (s. o.) ist. Der Sommer ist nicht so warm wie in Sibirien, die Winterkälte andererseits minder streng, und das Wärmemittel sinkt unter dasjenige von Werchojomsk herab. Im Sommer nahezu konstant, ist die Temperatur des polaren Nordamerika im Winter desto veränderlicher. In der kalten Jahreszeit mangelt es an Niederschlägen*), die Atmosphäre ist absolut und relativ gleich trocken bei regelmässigen nördlichen Winden. Sehr kalt fand es Rae allenthalben an der Hudsons-Bay, wo jedoch klare Luft eine Seltenheit, Frostrauch mit Diamantstaub sehr gewöhnlich ist. Dagegen gehen alldort hie und da fast tropische Regengüsse nieder. Der sonst im polaren Amerika weniger ausgesprochene Gegensatz zwischen Küste und Inland springt umsomehr in die Augen in Alaska. Zu beiden Seiten der ursprünglich mit diesem Namen belegten schmalen Halbinsel ist die klimatische Gegensätzlichkeit von seltener Entschiedenheit: die Nordseite frequentieren Walrosse und Robben, die Südseite Kolibris!

Bezüglich der klimatischen Sonderstellung Westgrönlands danken wir Rink gründliche Belehrung. Die Verteilung der Winterkälte identifiziert sich, je weiter man von Norden gegen Süden vorschreitet, mehr und mehr mit den europaeischen Verhältnissen, doch ist der Wind, den schon früher namhaft gemachten Südost-Fön abgerechnet, stets empfindlich kalt. Während der Wintermonate herrscht die Seebrise, während der Sommermonate die Landbrise vor. Die Niederschläge werden gleichfalls gegen den Aequator hin häufiger.

Erster Anhang.

Praktische Witterungskunde.

Es soll unsere Aufgabe sein, in diesem Zusatzkapitel die Methoden und Hilfsmittel zu kennzeichnen, deren man sich bedient, um über den Witterungscharakter einer näheren oder ferneren Zukunft Aufschluss zu erhalten. Die Grundsätze, von denen bei diesem schwierigen, noch in den ersten Stadien seiner Entwicklung befindlichem Werk auszugehen ist, finden sich bereits im ersten und zweiten Hauptstücke vor, und es wird lediglich darauf ankommen, jene theoretischen Lehren entsprechend für das zu verwerten, was wir praktische Meteorologie oder — etwas zu enge freilich — Wetterprognose, wohl auch Prognose schlechthin, nennen. Das uns schon bekannte Handbuch des verdienten Hamburger Meteorologen van Bebber**) wird uns bei der Lösung unserer Aufgabe die wertvollsten Dienste leisten.

*) Die Gefährten Mac Clintocks geben an, sie hätten einmal die von ihnen selbst im tiefen Schnee zurückgelassenen Fusspuren nach Jahresfrist intakt angetroffen; dies würde ebenso für die in jenen Gegenden herrschende Windstille wie auch für Armut an Niederschlägen sprechen.

**) J. van Bebber, Handbuch der ausübenden Witterungskunde, Stuttgart, 1. Band, 1885; 2. Band, 1886.

Zunächst müssen wir bemerken, dass wir von allen denjenigen Fingerzeigen, welche etwa aus der verschiedenen Stellung und Beschaffenheit der Himmelskörper sich ergeben könnten, von vorn herein absehen. Im zweiten Hauptstücke ward ein Überblick über dasjenige gegeben, was man als kosmische Meteorologie zu bezeichnen sich veranlasst fühlen könnte, und zwar gelangten wir damals zu der Überzeugung, dass zwar ein gewisser Einfluss der Gezeitenwirkung von Sonne und Mond sowie auch der Sonnenfleckenfrequenz kaum bestritten werden könne, dass dieser Einfluss aber viel zu schwankend und geringfügig sei, um für die Praxis ernstlich in betracht kommen zu können. Damit ist uns zugleich auch die Hoffnung abgeschnitten, auf längere Zeiträume unsere prognostische Arbeit zu erstrecken; was nach dieser Seite hin allenfalls zu geschehen vermöchte, ist die Gruppierung statistischen Materiales zum Zwecke des Nachweises, dass der meteorologische Typus einer gewissen Periode denjenigen der nächstfolgenden Periode bis zu einem gewissen Grade mitbestimme. *)

Darüber, ob die Befragung gewisser stabiler Instrumente, ohne Zuziehung der an anderen Orten gemachten Beobachtungen, Anhaltspunkte für eine richtige Prognose zu gewähren imstande sei, gehen die Meinungen ziemlich weit auseinander. Piazzi Smyth und Capron haben die Behauptung aufgestellt, dass, wenn im Spektroskope die Linie des Wasserdampfes in ungewöhnlicher Stärke — als Regenband — hervortrete, dann der Fall ergiebiger Niederschläge für die nächste Zeit mit Gewissheit zu erwarten sei. Auch H. J. Klein und Winslow Upton haben dieses Erscheinen des Regenbandes bemerkt und stellen dessen prognostische Bedeûtung nicht in abrede, unterlassen aber auch nicht zu betonen, dass das Spektroskop von den vielen für die Regenbildung thätigen Faktoren nur eben einen einzigen zu signalisieren vermag. Klein ist es auch gewesen, der unter dem Eindrucke der unerfreulichen Thatsache, dass wir mit der Prognose noch nicht über die ersten Anfänge hinausgekommen sind, die Möglichkeit einer rein lokalen, auf synoptische Thätigkeit verzichtenden Vorausbestimmung der Witterung ernstlich er-

*) Einen trotz mancher Bedenken unser volles Interesse verdienenden Anfang hat in dieser Richtung Hellmann gemacht (Über gewisse Gesetzmässigkeiten im Wechsel der Witterung aufeinanderfolgender Jahreszeiten, Sitzungsber. d. k. preuss. Akad. d. Wissensch., 15. März 1885), und zwar ist sein Resultat das im folgenden Schema wiedergegebene:

Nach einem		folgt am wahrscheinlichsten	
mässig sehr	mildem Winter	kühler warmer	Sommer,
mässig sehr	warmem Sommer	mässig milder kalter	Winter;
mässig sehr	kaltem Winter	kühler sehr kühler	Sommer.

Karsten fand bei Durchsicht der für Schleswig-Holstein ausgearbeiteten Witterungstabellen Hellmanns Angaben im wesentlichen bestätigt. Als wir oben (s. das dritte Hauptstück) der sogenannten Phaenologie der Pflanzen gedachten, erwähnten wir zugleich einer neueren Schrift von Hoffmann, in welcher phaenologische Daten in ähnlicher, jedoch freilich weit mehr Zweifeln ausgesetzter Weise zur ungefähren Feststellung des thermalen Charakters einer Jahreszeit a priori Verwendung finden.

wogen hat.*) Wir können dem als Vorsteher einer bekannten und geachteten Wetterwarte mit dem Beobachtungsdienste wohl vertrauten Autor gerne zugestehen, dass die Berücksichtigung lokaler Indizien nicht versäumt werden darf, ohne deshalb doch zu verurteilenden Schlüssen über die Art und Weise des Vorgehens unserer meteorologischen Observatorien uns gedrängt zu sehen.

Wir überzeugten uns weiter oben, dass als das gewaltigste und weitaus massgebenste Agens für die Gestaltung des Wetters die barometrischen Minima (Depressionen oder Zyklonen) zu gelten haben, wir erfuhren weiter, dass diese Minima nicht längere Zeit ruhig am nämlichen Platze verbleiben, sondern eine ausgesprochene Neigung zur Vorwärtsbewegung besitzen, indem sie zugleich unter den unendlich vielen an sich möglichen Zugstrassen eine kleine Anzahl bevorzugen. Wenn dem so ist, so liegt der Gedanke nahe, dass ein Ort der Erde, der von dem momentanen Aufenthaltsorte der Depression noch weit entfernt ist, von dem Herannahen der Zyklone benachrichtigt werden kann, und wenn zugleich dieser Nachricht eine Vermutung darüber beigefügt ist, ob das Minimum nördlich oder südlich, in grösserer oder geringerer Entfernung vom erstgenannten Orte vorübergehen werde, so ist ein am letzterem befindlicher Beobachter zugleich auch in die Lage versetzt, sich an der Hand des barischen Windgesetzes (s. o.) über das Umsetzen des Windes sowie über die hievon abhängigen Bewölkungs- und Regenverhältnisse ein Urteil im voraus zu bilden. Solange die Beförderung von Nachrichten nur mit denjenigen Hilfsmitteln erfolgen konnte, welche etwa bis gegen die Mitte des laufenden Jahrhunderts zur Verfügung standen, solange war an eine Verwirklichung solcher Gedanken, wären sie auch in irgend einem Kopfe aufgestiegen, naturgemäss nicht zu denken; erst die Vervollkommnung der elektrischen Telegraphie schuf diese Möglichkeit.

In den dreissiger Jahren hatten Gauss und Wilhelm Weber diese Nutzbarmachung des galvanischen Stromes durchzuführen begonnen, die praktischen Amerikaner hatten sich der deutschen Idee sofort bemächtigt, und bereits 1842 traten Kreil und Piddington mit dem Vorschlage hervor, die Ankunft heftiger Stürme von einem bereits betroffenen Punkte nach solchen Punkten zu telegraphieren, welche sich in der klar ausgesprochenen Bewegungsrichtung des Sturmes befinden.**) In Europa blieb diese zeitgemässe Anregung zunächst noch ohne Erfolg, in den

*) H. J. Klein, Über den praktischen Wert der auf den synoptischen Karten beruhenden allgemeinen Wetterprognosen, Halle a. S. 1886. Dieses Schriftchen ist gewissermassen nur als eine Zusammenfassung mehrerer früher erschienener Aufsätze anzusehen, welche der erwähnte Autor an verschiedenen Orten, zumal in der von ihm selbst herausgegebenen „Wochenschrift für Astronomie, Meteorologie und Geographie“ publiziert hat.

**) van Bebber, 1. Band. S. 318. Kreils Anschauungen sind im Prager astronomisch-meteorologischen Jahrbuch (1843) niedergelegt. Mit richtigem Takte erfasste er das Wesen der Sache, und die Worte, in welchen er sich hierüber ausspricht, erscheinen als von wirklich prophetischem Geiste eingegeben: „Eine möglichst schnelle Mitteilung der Witterungsverhältnisse in ausgedehnten, einen grossen Teil der Erde umfassenden Landstrichen ist daher die erste Bedingung, unter welcher es möglich ist, die künftigen Ereignisse unserer Atmosphäre vorauszusagen.“

Vereinigten Staaten dagegen fiel sie auf fruchtbaren Boden. Die „Smithsonian Institution“, eine für Fortbildung und Popularisierung der Wissenschaft gleich thätige Körperschaft, stellte sich an die Spitze und konnte schon im Jahre 1858 eine tägliche Wetterkarte zur öffentlichen Ausstellung bringen, zu deren Zusammenstellung zweiunddreissig durch das ganze Land verstreute Stationen mitgewirkt hatten. Andere Institute folgten dem gegebenen Beispiele, und 1869 begann die Staatsregierung selbst mit der Einrichtung eines sogenannten Signaldienstes („Signal Service“), welcher unter die gemeinsame Leitung des Meteorologen Cleveland Abbe und des Generals Myer*) gestellt wurde und in den zwanzig Jahren seines Bestehens für die Wetterprognose wie für die Physik der Atmosphäre überhaupt grosses geleistet hat.**) Alle Telegraphenlinien, auch die im Betriebe von Privatgesellschaften befindlichen, wurden für den Wetterdienst unter Bedingungen herangezogen, welche dessen regelmässiges Funktionieren verbürgen. Das britische Nordamerika schloss sich der Union schon frühzeitig an; in Toronto wurde eine Zentralstelle begründet, welche auch mit den Stationen der nördlichen Unionsstaaten in regelmässigen Depeschenverkehr trat. Von den europäischen Ländern war Frankreich dasjenige, in welchem mit den telegraphischen Wetterberichten ein systematischer Anfang gemacht wurde; die Pariser Sternwarte begann 1856, unter der Leitung von Leverrier und Chacornac, mit der Ausgabe von Wetterkärtchen — freilich in gar zu minutiösem Masstabe — und Sturmanzeigen. Die Vollkommenheit des straff zentralisierten nordamerikanischen Wetterdienstes zu erreichen war der französische allerdings weit entfernt.***) Für das Königreich der Niederlande wurde 1860 das von Buys-Ballot erdachte System massgebend, über welches weiter unten näheres beigebracht werden wird, in England fand die auf telegraphische Berichte sich stützende Küstenmeteorologie schon fünf Jahre zuvor einen äusserst geschickten Organisator in dem Kapitän und späteren Vizeadmiral Fitzroy, doch hatte die Einrichtung schwierige Zeiten zu überstehen, und erst seit 1877 ist die Reorganisation des unter die Aufsicht R. Scotts gestellten meteorologischen Amtes als vollendet zu betrachten. Dasselbe erhielt und verarbeitete nach den weiter unten zu erörternden Normen im Jahre 1882 an jedem Tage 87 einlaufende

*) Bei den Yankees wird Myer, der dort herrschenden Gepflogenheit gemäss, wegen der unter seinem Namen in die Öffentlichkeit gehenden „Probabilities“ (Wahrscheinlichkeits-Prognosen) mit dem Spitznamen „Old Prob“ bezeichnet.

**) Es ist uns nicht unbekannt, dass seit kurzem gegen die Leitung des Signaldienstes heftige Angriffe in der Presse sich erhoben haben, doch erscheinen uns dieselben vorläufig nur wenig begründet.

***) van Bebber, 1. Band. S. 335. „Das Leverriersche System, welches sich über den grösseren Teil des kontinentalen Europas ausdehnte, unterscheidet sich in wesentlichen Punkten von dem amerikanischen, indem die Beobachtungen sich nicht auf Simultanzeit, sondern auf Ortszeit, die in allen Ländern nicht dieselbe ist, beziehen, die Beteiligung der Beobachter eine freiwillige ist, die Telegramme, welche als Diensttelegramme behandelt werden, grösstenteils nur einmal am Tage und zwar am Vormittage, öfters mit erheblichen Verspätungen, ankommen und insbesondere den Zwecken des Sturmwarnungswesens dienen.“

Drahtberichte, von welchen 53 auf den frühen Morgen, 13 auf den Nachmittag und 19 auf den Abend entfielen. Das wettertelegraphische Amt Österreichs ist seit dem 15. Juni 1865 eröffnet, doch vermochte es erst viel später eine dem eigenartigen Charakter des Landes angepasste Geschäftsordnung sich zu geben, indem ausser der Wiener Zentralstation noch fünfzehn Lokalzentren in den einzelnen Kronländern geschaffen und mit den erforderlichen Mitteln zur Ausgabe von Teilprognosen versehen wurden. Die Verhältnisse in Italien, wo sich hauptsächlich der berühmte Physiker Matteucci der Sache annahm, sind im wesentlichen ähnlich gelagert wie in Österreich; für Norwegen hat Mohn, fär Dänemark Hoffmeyer, für Schweden Rubenson Einrichtungen getroffen, welche insbesondere auf die für diese Litoralgebiete wichtigen Sturmprognosen bedacht nehmen. Die pyrenäische Halbinsel ist begreiflicherweise noch im Rückstande, obwohl wenigstens Portugal in Brito Capello eine hoch zu schätzende Kraft besitzt, und auch in den unermesslichen Räumen des russischen Reiches erweisen sich die Entfernungen als ein schwer zu bewältigendes Hindernis. Den Anstrengungen einer ganzen Reihe ausgezeichneter Meteorologen — Kupffer, Kämtz, Wild, Woeikow — gelang es jedoch trotzdem, diese Schwierigkeiten nach und nach zu überwinden, und heute ist die Anzahl der mit der Zentralstelle in regelmässigem Verkehr stehenden Stationen doch schon eine ziemlich grosse.*) Die Sturmwarnungen stehen dabei in erster Linie, und zwar werden dieselben nicht blos für das eigentliche Meer und dessen Küsten sondern auch für jene grossen meer-artigen Binnenseen ausgegeben, an denen das europäische und asiatische Russland so reich ist. In der Türkei hat Cumbary, Direktor des meteorologischen Observatoriums in Stambul, den Nachrichtendienst wenigstens in seinen ersten Anfängen eingerichtet.**) Die transozeanischen Kolonien der europäischen Kulturstaaten durften natürlich hinter den Mutterländern nicht zurückstehen, und sowohl England wie Frankreich haben sich anerkennenswerte Mühe gegeben, in ihren überseeischen Gebietsanteilen den Telegraphen in den Dienst der synoptischen Witterungskunde zu stellen.***)

Am wichstigsten für uns sind, wie sich von selbst versteht, die Verhältnisse, wie sie sich auf deutschem Boden herausgebildet haben. Dass die Seestaaten die Sache zuerst in die Hand nahmen, begreift sich leicht; Hannover, Oldenburg und die zwei grossen Hansastädte trafen

*) Einlässlichere Nachweisungen über die Ausbildung des telegraphisch-meteorologischen Dienstes enthält Woeikows Aufsatz „Die Meteorologie in Russland“ (Russische Revue, 7. Band. S. 165 ff.)

**) Wir entnehmen diese Notiz der als übersichtliche Darstellung überhaupt sehr empfehlenswerten Abhandlung von H. Brocard, „Organitation actuelle du service météorologique en Europe“ (Alger 1881).

***) Das grosse Ostindien besitzt in Blanford einen vorzüglichen Administrator des in Rede stehenden Dienstzweiges; die Inseln des indischen Ozeans besitzen einen ebensolchen in Meldrum, und so liesse sich, käme es darauf an, für jede Provinz ein geachteter Name nennen. Frankreichs Bemühungen sind zumal in Algerien von Erfolg gekrönt gewesen; vgl. Tarry, Echange de télégrammes météorologiques entre l'Europe et l'Afrique, Bordeaux 1878. Als die Pariser Depeschen sich für das Mittelmeerbecken unzureichend erwiesen, stellte man den algerischen Wetterdienst auf die eigenen Füsse.

an der Nordsee, Preussen traf an der Ostsee seine eigenen Einrichtungen, und erst bei Gründung des norddeutschen Bundes suchte man diese verschiedenen Institute nach einheitlichen Grundsätzen umzuformen.*) Die „norddeutsche Seewarte“ v. Freedens bezeichnet einen achtbaren Anhang, doch war man in der Hauptsache noch auf den Bezug englischer Wettertelegramme angewiesen. Im April 1873 trat aber, auf Veranlassung des Reichskanzleramtes, in Berlin eine Kommission zur Beschlussfassung über ganz neue Anordnungen zusammen, und aus deren Beratungen ging, nachdem die Volksvertretung ihre Zustimmung ausgesprochen hatte, die durch kaiserliche Verordnung vom 9. Januar 1875 den selbständigen Reichsanstalten eingereichte deutsche Seewarte, mit dem Sitze in Hamburg, hervor. Dieselbe ist von ihrem trefflichem Organisator und seitherigem Vorstande Neumayer in der Weise eingerichtet worden, dass alle für wissenschaftliche Nautik und für Meteorologie irgend erforderlichen Arbeiten in ihr ihren Brennpunkt finden.**) Die deutschen Binnenstaaten gaben dem prognostischen Dienstzweige die Gestalt, welche die besonderen Umstände erheischten. So ist im Grossherzogtum Baden, das von altersher unter Überschwemmungen zu leiden hat, die Meteorologie in engsten Kontrakt gebracht mit dem hydrographischen Bureau, welches von Honsell zu einem Musterinstitute gemacht wird und insonderheit auf dem Gebiete der Hochwasserprognose schon sehr bedeutendes geleistet hat.***) Im Königreiche Sachsen hinwiederum stand das agrarmeteorologische Interesse obenan.†) Württemberg durfte sich in Schoder, Bayern in W. v. Bezold sehr geschickter Direktoren des meteorologischen Amtes rühmen; als letzterer sein engeres Vaterland verliess, um die in diesem gesammelten Erfahrungen als Chef des neu geschaffenen meteorologischen Institutes für Preussen††) zu verwerten, trat an seine Stelle C. Lang,

*) van Bebber, 1. Band. S. 345.

**) Die Seewarte zerfällt, so wie sie gegenwärtig verwaltet wird, in vier Abteilungen, deren jeder ein besonderer „Abteilungsvorstand“ vorgesetzt ist. Die erste derselben beschäftigt sich ausschliesslich mit maritimer Meteorologie, deren Eigenart gleich nachher von uns zu kennzeichnen sein wird, die zweite ist das Departement der Instrumentenprüfung, und zwar wird in derselben auch ein besonderes Augenmerk auf die Bestimmung der von den Eisenteilen eines Schiffes bewirkten Kompass-Nadelablenkung gerichtet. Die gesamte ausübende Meteorologie, sowohl für den Küstendienst als auch für das Inland, fällt der dritten Abteilung zu. Ein Attribut der vierten Abteilung ist das astronomische Observatorium, ausserdem aber befindet sich in ihr auch das sehr segensreich wirkende Chronometer-Kabinett. Jeder Schiffsführer hat das Recht, seinen Zeitmesser hier darauf untersuchen zu lassen, ob die extremen Gegensätze von Wärme und Kälte, welche ein Schiff in den verschiedenen Teilen der Erde anzutreffen erwarten muss, den Gang der Uhr nicht in einem gewisse enge Grenzen überschreitenden Masse beeinflussen. Abteilungsvorstände sind zur Zeit die Herren Kapitän Dinklage, Kapitän Koldewey, Dr. van Bebber und Professor Dr. Rümker.

***) Wer sich für diese natürlich auch zunächst mit meteorologischen Faktoren rechnende Thätigkeit interessiert, findet Belehrung in Honsells Schrift „Die Hochwasser-Katastrophen am Rhein im November und Dezember 1882“ (Berlin 1883).

†) Vgl. Bruhns, Über das meteorologische Bureau für Witterungsprognosen im Königreiche Sachsen, Leipzig 1879.

††) Auch dieses Institut ist nach drei Abteilungen mit zugeordneten

der es sich nach jeder Seite hin — es sind uns schon mehrfach Belege hiefür entgegengetreten — angelegen sein lässt, den bisherigen Ruf der Münchener Zentralstation zu erhalten und zu mehren. Wir sehen so, dass die praktische Witterungskunde, trotz ihrer Jugend, sich bereits eine geachtete staatliche Stellung errungen und damit auch die Bürgschaft dafür erworben hat, dass die von ihren Vertretern auf Grund unbezweifelter theoretischer Wahrheiten zu ziehenden Wahrscheinlichkeitsschlüsse von Jahr zu Jahr einer grösseren Zuverlässigkeit teilhaftig werden.

Einen wesentlichen Anteil an diesem Fortschritte dürfen auch die internationalen meteorologischen Kongresse für sich in anspruch nehmen, weil durch sie es ermöglicht wurde, einheitliche Normativbestimmungen für die Anstellung der Beobachtungen, für die Übermittlung der Drahtberichte u. s. w. ins Leben zu rufen, Normativbestimmungen, ohne welche ein fruchtbringendes gegenseitiges Indiehandarbeiten seitens der einzelnen Länder gar nicht denkbar sein würde. Auf die Idee, derartige Versammlungen einzuberufen, verfiel zuerst der amerikanische Kapitän Maury, dessen „Physikalische Geographie des Meeres“ berechtigtes Aufsehen gemacht und u. a. auch dargethan hatte, welchen Nutzen Handel und Verkehr aus einer gründlichen Kenntnis der Luft- und Meeresströmungen zu schöpfen vermögen. Die Unionsregierung ging auf Maurys Vorschläge ein und forderte alle an der Seeschiffahrt interessierten Länder zur Beschickung einer Konferenz auf, welche denn auch im Jahre 1853 zu Brüssel zusammentrat und eine gewisse Gleichförmigkeit in der Anstellung nautisch-meteorologischer Beobachtungen anbahnte.*) Ein Versuch Doves, ähnliches auch für die binnenländische Meteorologie zu erreichen, blieb ohne greifbaren Erfolg.**) Erst seit 1872 nahmen diese Bestrebungen eine festere Form an; es haben zwei internationale Kongresse (in Leipzig und in Rom) stattgefunden, und zudem hat das sogenannte permanente Comité eine Reihe von fruchtbaren Sitzungen abgehalten. Um nur eines zu erwähnen, so verdanken wir dieser internationalen Übereinkunft die Vereinbarung der Abbreviaturen, unter welchen die verschiedenen meteorologischen Erscheinungsformen in der Fachlitteratur und in der Tagespresse verzeichnet werden, sowie die Festsetzung einer allgemeingiltigen — der uns schon bekannten Beaufortschen — Windstärkeskale. Auch die alljährlich, womöglich in zeitlicher Verbindung mit dem deutschen Geographentag oder der Wanderversammlung deutscher Naturforscher und Ärzte abzuhaltenden Generalversammlungen unserer mete-

Vorständen gegliedert, als welche die Doktoren Assmann, Sprung und Hellmann fungieren. Letzterer hat, wie wir wissen, die Geschichte des unter Dove blos für Klimatologie wirksamen Institutes geschrieben.

*) Maritime Conference held ad Brussels for divising a Uniform System of Meteorological Observations at Sea, 1853. Es existiert davon auch eine französische Ausgabe.

**) van Bebber, 1. Band. S. 299 ff. Es ist nicht zu leugnen, dass Dove kaum der richtige Mann war, schöpferisch mit Reformen vorzugehen, welche der von ihm in seinen späteren Lebensjahren gepflegten wissenschaftlichen Einseitigkeit nachteilig werden mussten. Diese Einseitigkeit spricht sich sehr unzweideutig in einem Gutachten aus, welches Dove im Auftrage des Handelsministeriums (1863) erstattete.

orologischen Gesellschaft dienen im kleinen einem ähnlichen Zwecke, wie die Weltkongresse.

Es liegt auf der Hand, dass die Vorausbestimmung von Witterungszuständen mit umsomehr Aussicht auf Eintreffen der Prognose wird erfolgen können, von je mehr Orten die Nachrichten verarbeitet werden können, und je mehr sich die geographische Verteilung dieser Orte dem aktuellen Terrain anpasst. Die Observatorien sollten demnach am Meeresufer dichter ausgeteilt sein, als in einem Flachlande, auch stabile Meeresstationen wären, wenn durch den Draht oder durch heliographische Telegraphie*) mit dem Festlande verbunden, von hohem Werte**), und ganz besonders sind auch Plateau- und Gipfelstationen ein dringendes Bedürfnis, wenn nicht die für ein Gebirgsland — wegen der stets bestehenden Neigung zur Bildung von Teildepressionen — ohnehin sehr schwierige Prognose um jeden Kredit in weiteren Kreisen kommen soll. Auch die Klimatologie nimmt an solchen Hochstationen schon um desswillen besonders lebhaft anteil, weil, wie wir uns überzeugten, der tägliche und jährliche Gang der meteorologischen Elemente in grösserer Entfernung vom Erdboden gar sehr von demjenigen in der Ebene verschieden ist. Man hat dies eingesehen und in verschiedenen Ländern Beobachtungsplätze in relativ bedeutender Meereshöhe zu etablieren begonnen.***) Die Schweiz begründete auf dem St. Theodul-Passe im Wallis einen solchen Posten, der allerdings nicht permanent besetzt war, aber doch gleich für den ersten Winter ganz beachtenswerte Ergebnisse lieferte. Was seitdem auf diesem Arbeitsfelde geleistet wurde, lernt man wohl am besten aus einer Abhandlung des Amerikaners Rotch†) kennen, dessen Spezialität eben die Höhenstationen bilden, und der eine umfängliche Studienreise wesentlich zu dem Ende unternahm, um für das von ihm selbst auf dem Blue-Hill gestiftete Observatorium die notwendigen Erfahrungen sich anzueignen. In Nordamerika ist neben dem zuletzt

*) Mittelst des Gaussschen Heliotropes war Ibañez bei seinen Gradmessungsarbeiten Lichtsignale von Marocco nach Spanien zu geben imstande, im Maximum auf eine Entfernung von 180 englischen Meilen. Andererseits ist auch vorgeschlagen worden, dass ein kleiner automatischer Unterbrecher die Lichtsignale nach Morses System hervorbringen solle, sei es nun, dass als Empfänger das lichtempfindliche Selen diene, oder dass das Signal sich auf einem photographischen, mit Bromsilber-Gelatine überzogenen Papierstreifen markiere, welch letzterer sich durch den Fokus des Aufnahmefernrohres hindurchzubewegen hätte.

**) Von dem bekannten Pater Secchi ward Italien der Rat gegeben, einen Küstenpunkt im westlichen Irland zu erwerben und mit den Hilfsmitteln zur Beobachtung der über das atlantische Meer herüberkommenden Minima zu versehen.

***) Historisch verdient hier der bekannte schweizerische Naturforscher J. J. Scheuchzer eine ehrende Erwähnung, weil er (um 1705) den im St. Gotthard-Hospiz wohnhaften Pater Joseph de Seissa zur Anstellung von Korrespondenzbeobachtungen in einer Höhe, wie sie vorher für solche Zwecke noch niemals in frage gekommen war, zu bestimmen wusste.

†) Rotch, The Mountain Meteorological Stations of Europe, American Meteorological Journal, Vol. II. Nr. 10—12; Vol. III. Nr. 1. Gute Gesichtspunkte eröffnet auch eine Schrift von Marinelli: Della opportunità di fondare un osservatorio meteorologico sulle nostri Alpi (Udine 1873).

erwähnten noch dasjenige auf dem Pikes Peak vorhanden, Australien hat ein solches, allerdings in der nicht sehr beträchtlichen Höhe von 660 m, durch Wragges Bemühungen, auf dem Mount Lofty bei Adelaide erhalten. Demselben Manne verdankt die Station auf dem schottischen Ben Nevis (1342 m) ihre Existenz. Frankreich besitzt wesentlich zwei Stationen dieser Art, von denen die eine, auf dem Puy du Dome (1463 m), dem auvergnatischen Mittelgebirge, die andere aber, auf dem Pic du midi (2366 m), den Pyrenäen, also dem Hochgebirge angehört. Die mitteldeutsche Gebirgslandschaft besitzt mehrere meteorologisch wichtige Punkte, unter denen wir den bereits mit Selbstregistratoren besetzten Inselsberg (916 m), den Brocken (1141 m)*) und den höchsten nicht-alpinen Gipfel Deutschlands, die Schneekoppe (1599 m) im Riesengebirge auszeichnen. Die Alpen sind während des letzten Jahrzehntes in den Vordergrund des montan-meteorologischen Interesses getreten, und dem entsprechen auch die raschen Fortschritte, welche trotz des Kostenpunktes die alpinen Hochstationen quantitativ und qualitativ gemacht haben. Die Beobachtungsstationen auf dem Säntis (2504 m)**), dem in jeder Hinsicht als Station erster Ordnung eingerichteten Hoch-Obir (2148 m) und neuerdings besonders auf dem Sonnblick (3090 m)***) in den Tauern versprechen für theoretische Erkenntnis und meteorologische Praxis sich gleichmässig nutzbar zu erweisen; auch Bayern ist nicht zurückgeblieben, indem durch vereinte Thätigkeit der Zentralstation und des deutsch-österreichischen Alpenvereines auf dem Wendelstein (1728 m) ein auch über den Winter sich erstreckender Beobachtungsdienst eingeführt wurde. —

Nachdem wir bisher allgemein von der ausübenden Meteorologie und ihrer Entwicklung im Verlaufe der allerletzten Jahre gehandelt haben, empfiehlt es sich jetzt, die Objekte, auf welche diese Disziplin ihr Augenmerk richtet, zu spezialisieren und damit auch diese letztere selbst in ihre naturgemässen Unterabteilungen zu zerfällen. Es kann erstlich Endzweck der praktischen Meteorologie sein, dem Seefahrer Winke betreffs der von ihm in einzelnen Meeresteilen zu den verschiedenen Jahreszeiten voraussichtlich zu erwartenden Witterungsverhältnisse und gleichzeitig Ratschläge für eine den Umständen sich anpassende Schiffsführung zu erteilen: dann haben wir es mit nautischer oder maritimer Meteorologie zu thun. Während jedoch der Seemann,

*) Vgl. Hellmann, Das Klima des Brocken, Zeitschr. f. wissensch. Geogr., 3. Jahrgang. S. 5 ff. S. 60 ff.

**) Billwiller, Bericht über die Errichtung der meteorologischen Station auf dem Säntis und ihre Thätigkeit vom 1. September 1882 bis Ende August 1884, Zürich 1884. Die Station kam wesentlich durch Privatbeiträge zustande, wird aber später vom Staate übernommen werden. Das Märzheft des Jahrganges 1885 der „Meteorolog. Zeitschrift" bringt eine Abbildung des Gebäudes.

***) Nähere Aufschlüsse über die Sonnblick-Station, bei deren Errichtung sich besonders die kräftige Initiative des Bergwerkbesitzers Rojacher bethätigte, findet man in einem Schriftchen, das gemeinsam von Hann und A. v. Obermayer bearbeitet wurde (Berlin 1888). Eine Reihe von vorläufigen Angaben über die von dem „einsamen Manne" auf dem Sonnblick bisher gemachten Beobachtungen aus Hanns Feder bringt Jahrgang 1887 der „Mitteilungen des deutschen und österreichischen Alpenvereins". Vgl. auch einen belehrenden Aufsatz von Pfeifer in „Natur und Offenbarung" (34. Band).

gewisse extreme Fälle ausgenommen, sich auf hoher See aus „bösem Wetter“ — das Wort „Sturm“ ist aus der Terminologie des Matrosen so gut wie gänzlich ausgeschlossen — eben nicht allzu viel zu machen pflegt, ändert sich diese Gleichgiltigkeit sehr in der Nähe der Küste, und es ist desshalb von grossem Werte für den Befehshaber eines Schiffes, recht zeitig auf einen herannahenden Sturm aufmerksam gemacht zu werden. Dies zu thun, ist der litoralen Meteorologie und dem in ihre Obhut gestellten Sturmwarnungswesen vorbehalten. Die Wetterprognose schlechtweg hat die Aufgabe, für irgend einen Ort des Binnenlandes aus der allgemeinen, durch Drahtmeldungen bekannt gewordenen Wetterlage mit Zuziehung der regionalen und örtlichen Sondereinflüsse die wahrscheinliche Witterung vorauszubestimmen, ohne dass dabei der eine meteorologische Faktor von einem anderen eine wesentliche Bevorzugung erführe. Immerhin aber kann auch letzteres gefordert werden, und zwar geschieht dies in der Agrar-Meteorologie, welche hauptsächlich auf die für das Gedeihen der Feld- und Gartenfrüchte massgebenden Lufterscheinungen Gewicht legen muss. Eine kurze Skizze jeder dieser vier Abteilungen soll im folgenden gegeben werden.

I. Maritime Meteorologie.

Wie man schon aus unseren früheren Angaben entnehmen kann, führt dieser Wissenszweig seinen Ursprung auf den vortrefflichen amerikanischen Geophysiker Maury zurück. Von deutschen Forschern hat sich seiner mit besonderer Thatkraft Neumayer in Hamburg angenommen, der auch, wie wir schon wissen, die reichen Hilfsmittel seiner Seewarte in diesem Sinne nutzbar macht, nachdem er die Ziele, denen er zustrebt, bald nach seiner Zurückkunft aus Australien dem wissenschaftlichen Publikum ausführlich dargelegt hatte.*) In Übereinkunft mit anderen an der Pflege der Meeresmeteorologie beteiligten Staaten, zumal mit England und Holland, einigte man sich über die zunächst einzuschlagenden Wege.**) Wenn wir uns den Erdball mit seinem Netze von Meridianen und Parallelkreisen bedeckt denken, so zerfällt des ersteren Oberfläche in 360.180 = 64 800 sphaerische (resp. sphaeroidische) Trapeze, deren Basis und Höhe je einen Bogengrad beträgt; ein solches Trapez bezeichnet man als Gradfeld. Die zur Arbeitsteilung übereingekommenen Staaten verteilen nun die sämtlichen vom Weltmeere überdeckten Gradfelder unter sich, und so fallen der Abmachung zufolge unter Deutschlands Oberaufsicht alle jene Felder, welche der nordatlantische Ozean zwischen dem 30. und 50. Parallel in sich schliesst. Jedem Schiffe, dessen Kapitän sich zur Mitarbeit an der Förderung der Wissenschaft bereit erklärt, händigt die Seewarte ein

*) Neumayer, Der Weltverkehr zur See und die Geophysik in ihrer Wechselwirkung, Tageblatt der 44. Naturforscherversammlung, Rostock 1871. S. 160 ff.

**) Aus dem Archiv der deutschen Seewarte, 1. Jahrgang, Hamburg 1878. S. 60 ff. Auch die folgenden Jahrgänge dieser für die physische Geographie nach den verschiedensten Seiten wertvollen Publikation verdienen hier genannt werden, indem sie das allmählige Fortschreiten des nautisch-meteorologischen Wissens und Könnens charakterisieren.

Formularbuch ein, und ihm liegt nun die Aufgabe ob, in dasselbe genaue Aufzeichnungen über den Stand von Wind und Wetter einzutragen, solange er sich innerhalb des von Deutschland verwalteten Bezirkes aufhält. Zu drei fest bestimmten Tagesstunden, vorab um 8 Uhr des morgens, nimmt der Kapitän sein Besteck und trägt in sein Buch die geographische Lage des im Augenblicke innegehabten Platzes ein, sodann thut er ein gleiches mit der Windrichtung und mit der nach Beauforts Skale gemessenen Windstärke, mit den Ablesungen am Barometer, Thermometer und Psychrometer,***) mit der Wolkenbildung und Himmelsansicht, mit den Beobachtungen über Seegang und eventuelle Meeresströmungen, über Temperatur und Dichte des Meerwassers. Die Journale werden, sobald das Schiff den Hafen erreicht hat, an die Seewarte eingesendet und dort einer gründlichen Prüfung unterzogen; selbe führt dazu, die einzelnen Einlieferungen mit gewissen Noten ihrer Zuverlässigkeit zu versehen, ganz zu verwerfen oder auch als besonders gut durchgeführt zu bezeichnen, in welch letzterem Falle den Kapitänen aus einem hieführ angelegtem Fond eine Prämie verabfolgt wird. Von

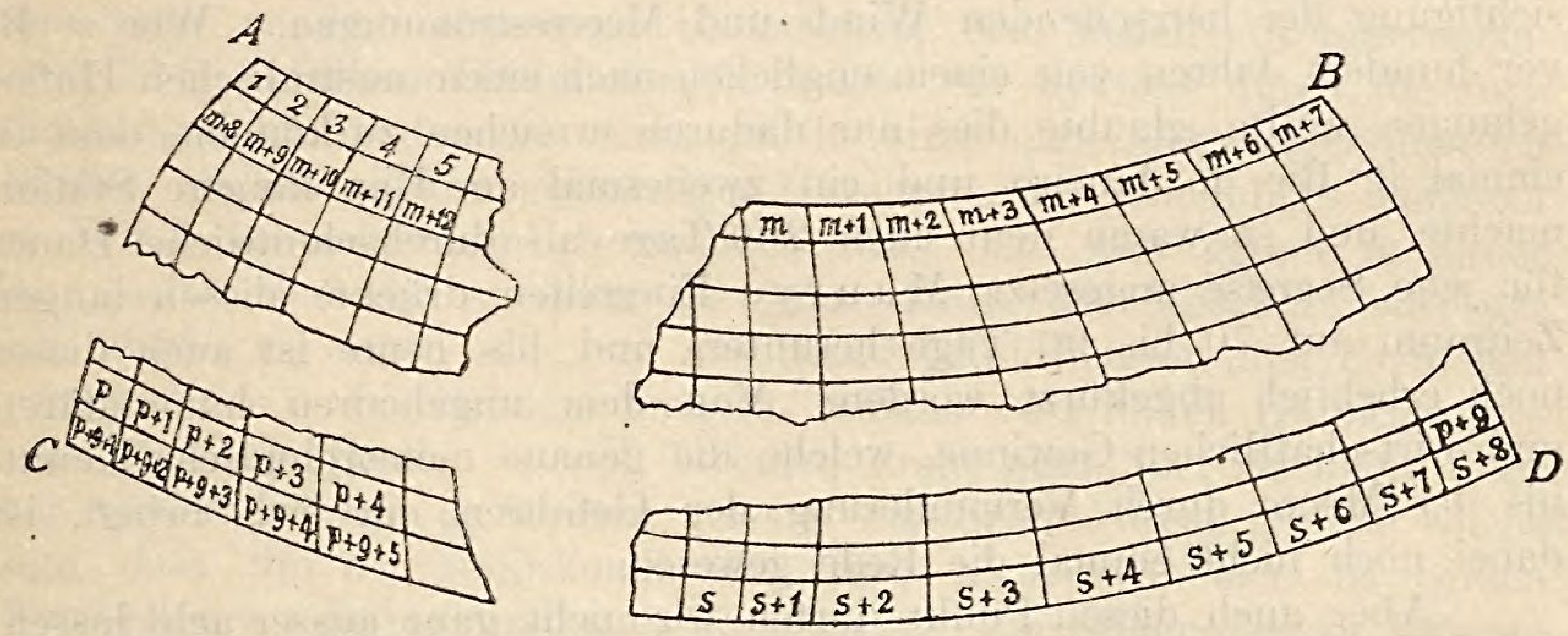


Fig. 55.

den nach 1875 zurückgelangten Tagebüchern erhielten im ganzen 81,3 % das Praedikat „gut“, 17,4 % das Praedikat „mittelmässig“ und nur 1,3 % das Praedikat „unbrauchbar“. Die Repositorien der Seewarte, in welchen so und so viele Hunderte von geprüften und allen Bedingungen der Vergleichbarkeit unterliegenden Journalen vereinigt sind, gehören zweifellos zu deren kostbarsten Inventarstücken.

Sobald nun für ein bestimmtes Gradfeld hinlängliches Beobachtungsmaterial vorliegt, wird die synoptische Meteorologie des Feldes in angriff genommen. In Fig. 55 soll das Viereck ABCD einen grösseren abgeschlossenen Komplex von Elementartrapezen vorstellen; dieselben seien in der Weise durchnummeriert, dass links oben Feld 1 beginnt, und dass nachdem immer eine Aequatorialzeile durchgezählt ist, die Zählung links in der zunächst darunter liegenden Zeile weitergehe. Wir greifen beliebig das Feld 146 heraus, und zwar deshalb, weil dasselbe

*) Die Beobachtungsinstrumente werden von der Seewarte selbst bezogen, womit die Bürgschaft für deren Übereinstimmung gegeben ist.

zuerst nach dem von Neumayer und Buys-Ballot verabredeten Schema bearbeitet werden konnte. Einfacher Übersicht halber denken wir uns vier Schiffskurse verzeichnet, welche teilweise in unser Gradfeld hineinfallen; die Anzahl von Beobachtungsterminen, welche jedem der im Trapez liegenden Kursstrecken entsprechen, sei sesp. 2, 3, 5, 8: dann besitzt man im ganzen achtzehn Werte der in Frage kommenden meteorologischen Faktoren und damit die Möglichkeit, eine Wetterkarte für den betreffenden Teil der Meeresfläche herzustellen. Der Abschnitt „Atmosphärische Vorgänge über dem nordatlantischen Ozeane“, welchen man regelmässig in den von der Seewarte verausgabten Monatsberichten begegnet, ist auf grund solcher Zusammenstellungen entstanden.

Die Zentralstelle geht aber, in Verbindung mit der Admiralität, noch weiter, indem sie Segelanweisungen und Segelhandbücher für die verschiedenen Meere und Meeresteile bearbeitet und ausgibt. Der Gedanke, dem hier praktischer Ausdruck gegeben wird, ist ebenso wie das betreffende Kunstwort („Sailing Directions“) auf Maury zurückzuführen.*) Ebenderselbe hat auch schon bedeutendes erzielt in der Abkürzung der Meereswege durch zweckdienliche Berücksichtigung der herrschenden Wind- und Meeresströmungen. Wer z. B. vor hundert Jahren von einem englichen nach einem australischen Hafen gelangen wollte, glaubte dies nur dadurch erreichen zu können, dass er einmal in Rio de Janeiro und ein zweitesmal am Kap längere Station machte, und so waren denn auch 200 Tage als durchschnittliche Dauer für jene Seereise angesetzt. Maurys Eingreifen drückte diesen langen Zeitraum auf 70 bis 90 Tage herunter, und bis heute ist auch dieser noch erheblich abgekürzt worden. Von dem ungeheuren humanitären und wirtschaftlichen Gewinne, welche die genaue meteorologische Kenntnis der Meere durch Verminderung der Gefahren mit sich bringt, ist dabei noch nicht einmal die Rede gewesen.

Aber auch diesen Punkt dürfen wir nicht ganz ausser acht lassen. Wir erwähnten bereits, dass Stürme im allgemeinen, wenn keine Klippen sich in der Nähe befinden, für ein gut gebautes und richtig geleitetes Schiff nicht gefährlich sind; nur eine gewisse Gattung von Orkanen macht davon eine Ausnahme, nämlich die uns aus dem zweiten Hauptstück erinnerlichen Wirbelstürme, welche in den westindischen, ostindischen und chinesischen Gewässern ihr Wesen treiben. Wird das Schiff von einem solchen Unwetter überfallen, so kann ein sachkundiger Kapitän durch geeignetes Manoeuvrieren manches dazu thun, um das schlimmste abzuwenden, und vornämlich kann er in vielen Fällen sich rechtzeitig aus dem eigentlichen Sturmfelde entfernen. Dies hatten die Meteorologen schon frühzeitig erkannt, und Dove stellte gewisse Regeln

*) Ein Gefühl dafür, dass gewisse Routen mit den mangelhaften Mitteln älterer Steuermanns- und Segelkunst nicht erzwungen werden, sondern höchstens durch Anpassung an die Winde umgangen werden könnten, besassen allerdings schon manche Seefahrer des Entdeckungszeitalters, wie es denn z. B. Urdaneta gelang, durch passendes Aufkreuzen und Treibenlassen den vor ihm stets erfolglos gesuchten Weg von den Philippinen nach der mexikanischen Küste zu finden (1565). Das nautische Lehrbuch des Juan Eccalante de Mendoza (1575) enthält schon einige systematische Anweisungen zur Ermittlung der richtigen Kurse, doch schritt die Erkenntnis nur sehr langsam und stufenweise fort.

auf, nach welchen in der Sturmgefahr gehandelt werden sollte, allein die Einsicht in die mechanischen Bedingungen des Zustandekommens und der Fortpflanzung solcher Drehstürme war vor dreissig Jahren noch eine viel zu unvollkommene, als dass Doves Vorschriften den Kern der Sache hätten treffen können. Im Gegenteile würde die Vollziehung mancher derselben im Ernstfalle sogar Bedenken erregen müssen.

Sehr übersichtlich hat die Regeln, nach welchen Seeschiffe bei herannahendem Sturme und während desselben zu lenken sind, van Bebber zusammengestellt.**) Es ist natürlich wohl zu unterscheiden, ob sich das Schiff in einer gemässigten oder aber in der heissen Zone befindet, denn die Art und Weise des Auftretens der Stürme ist ja durchaus nicht überall die nämliche. Wir verweilen hier lediglich bei den tropischen Zyklonen als den eigentlich unheilvollen. Um zu erkennen, ob ein Sturmfeld sich in fühlbarer Nähe befinde, muss man ununterbrochen das Barometer beobachten; ein rascher, abrupter Fall des Quecksilbers dient als ziemlich sicheres Kennzeichen, dass jenes der Fall ist, und dann muss die Windrichtung und deren Änderung festgestellt werden. Aus dem Drehsinne, in welchem der Wind umsetzt, kann man nämlich erkennen, in welchem der beiden mit rotierenden Luftteilchen erfüllten Halbkreise, in welche die Zyklone durch die Fortschreitungsrichtung des Zentrums geteilt wird, man sich augenblicklich befindet. Sollte ein unregelmässiges Umsetzen und allmähliges Abflauen der Winde es wahrscheinlich machen, dass man sich gerade in dieser Bahn selbst befinde, so wird die ganze Kraft der Maschine oder der Segel daran zu setzen sein, um aus dieser gefährlichsten aller Positionen wegzukommen. Je nachdem man im rechten oder linken Halbkreise — eigentlich Halbzylinder — sich befindet, dreht man über Backbord oder über Steuerbord bei, d. h. man versetzt den Schiffskörper in eine solche Lage, dass ihn der herankommende Sturm nicht von einer der beiden Längsseiten zu fassen und zum Kentern — Umschlagen — zu bringen vermag. Auf der nördlichen Halbkugel ist stets der zur rechten liegende, auf der südlichen Halbkugel der zur linken liegende Halbkreis der gefährlichere, weil das in seine Wirkungssphäre hineingerissene Fahrzeug durch die dort herrschende Bewegungstendenz dazu genötigt werden kann, die Bahn des Sturmzentrums — der eigentlichen Kalme — vor demselben zu kreuzen, und auf dieser Strecke ist die Intensität der Wirbelbewegung eine ungleich grössere, als auf der entgegengesetzten Seite. Man kann es wohl auch versuchen, durch passendes Lavieren sich aus dem gefährlichen in den minder gefährlichen Halbzylinder hinüberzuretten; da jedoch bei diesem Beginnen die zentrale Trajektorie selbst durchschnitten werden muss, so ist dies unter allen Umständen ein gewagtes Manoeuvre.*)

*) van Bebber, 2. Band. S. 456 ff. Das hier verarbeitete Manual ist gewissen Anweisungen zur Schiffsführung entnommen, welche von englischer und von deutscher Seite ausgegangen sind. Wertvoll ist zumal das periodisch vom „Meteorological Council" veröffentlichte „Barometrical Manual for the Use of the Seaman", durch welches sehr viel zur Erreichung des Zieles geleistet worden ist, jeden Nautiker in seinem Schiffsbarometer einen „Warner, Ratgeber und Tröster" erkennen und verehren zu lehren.

**) van Bebber, 2. Band. S. 468.

Die Berücksichtigung der Sturmregel setzt grosse Kaltblütigkeit und eine ungeschwächte Denkkraft voraus, Eigenschaften, welche in Momenten solch imminenter Gefahr wohl kaum als selbstverständlich gelten können. Es wäre deshalb recht wünschenswert, dem Operieren nach mentalen Vorschriften einen Mechanismus substituieren zu können, der nur eine Minderzahl von Handgriffen erfordert. Praktisch wie immer, suchten die Amerikaner die vorstehend angedeutete Idee in Wirklichkeit umzusetzen, und Piddingtons Hornkarte fand bald eine ziemlich ausgedehnte Verwendung. Auf einer Platte von durchsichtiger Hornsubstanz — daher der Name — ist ein System von konzentrischen Kreisen mit beigesetzten Windpfeilen verzeichnet; für jede Hemisphäre bedarf es einer separaten Platte. Man sieht, dass diese Vorrichtung unseren oben aufgestellten Forderungen nur zum teile genügt, indem der eigenen Initiative des Schiffslenkers noch ein ziemlich grosser Spiel-

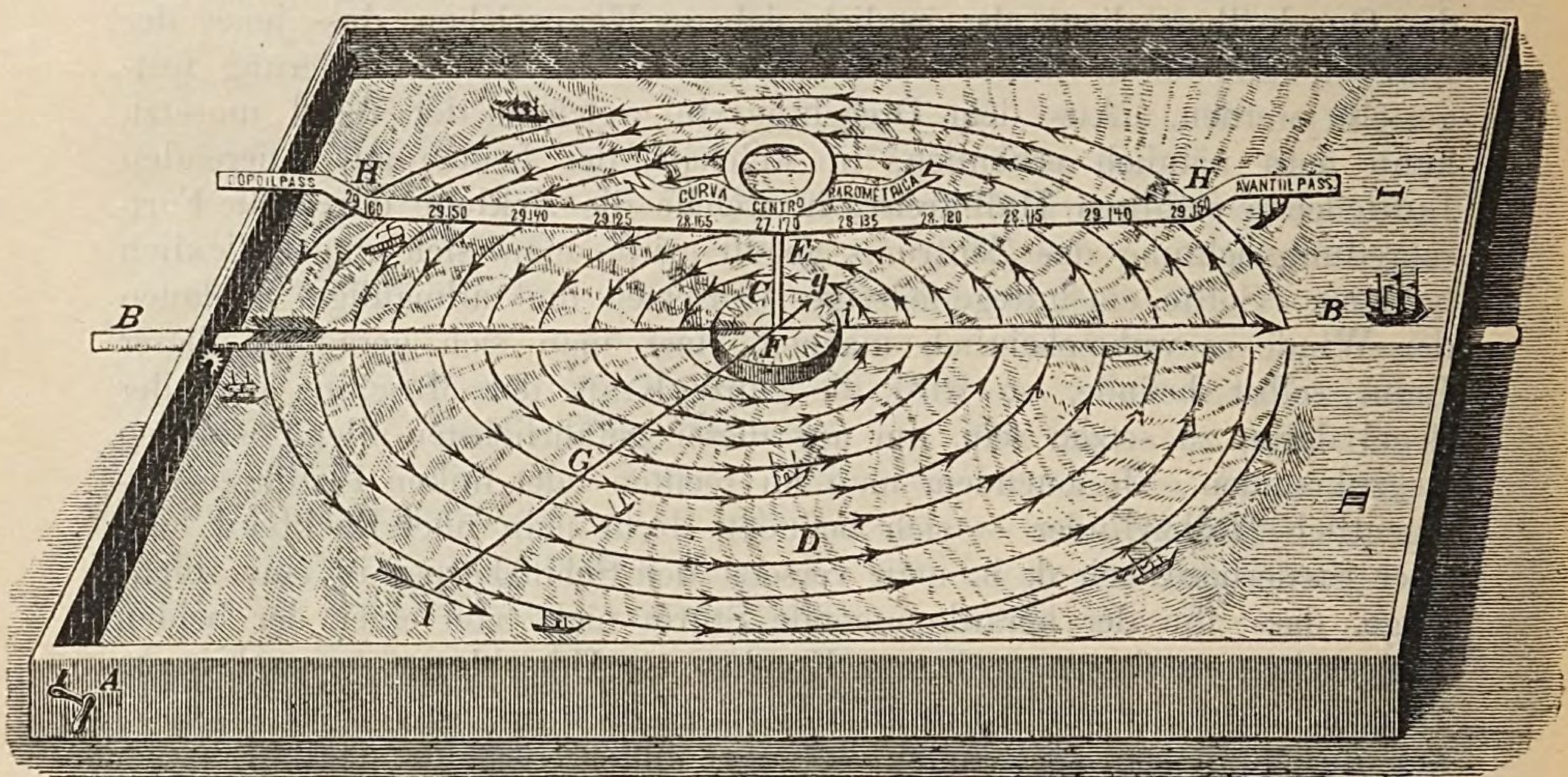


Fig. 56.

raum vorbehalten bleibt. Anders und besser steht es mit einem Apparate, welchen Graf Viscovich 1882 in Triest öffentlich ausgestellt und mit dem Namen Zyklonograph belegt hat,*) und welchen uns Fig. 56 vor Augen stellt. Wir sehen vor uns eine Scheibe von 1,17 m Länge und 0,86 m Breite, auf welcher die den Drehstürmen eigentümliche Wellenbewegung des Meeres im Relief dargestellt ist. Kleine Schiffsmodelle sind allenthalben dargestellt, in schwarzer Farbe, wenn sie die richtige, in weisser Farbe, wenn sie die falsche Stellung einnehmen. Die ein wenig über die Ebene des Schemas sich bewegende, um den Mittelpunkt F frei drehbare Alhidade BB signalisiert die Fortschreitungsrichtung des Sturmes. Noch weiter oberhalb befindet sich an dem vertikalen Arme E ein horizontaler HH,

*) Unsere Beschreibung lehnt sich an an den Aufsatz von Gelcich „Der Viscovichsche Zyklonograph, nebst einigen geschichtlichen Bemerkungen über Orkan-Dromoskope“ (Zeitschr. f. Instrumentenkunde, 1883. S. 161 ff.).

auf welchem die den Distanzen vom Mittelpunkt im Durchschnitte zukommenden Barometerstände zu lesen stehen. Die bewegliche Rose F mit dem verlängerten Durchmesser gJ dient zur Fixierung der Zentrumsbahn. Die konzentrischen Kreise D mit ihren die Windrichtung anzeigenden Pfeilen spielen die uns bereits von Piddingtons Karte her bekannte Rolle, doch kann man, und hierin liegt ein entschiedener Vorteil, durch eine mit dem Inneren des Kastens in Verbindung stehende Kurbel A das ganze Kreissystem in Drehung versetzen. Durch die Windrichtung und durch den gerade gemessenen Barometerstand ist der momentane Schiffsort als durch Polarkoordinaten bestimmt, dann sucht man irgendwo einen der fraglichen Windrichtung entsprechenden Pfeil und dreht die Alhidade so lange, bis sie diesen Punkt deckt. Auf der mit einer Meilenskale versehenen Alhidade kann man sehen, wie sich die einen bestimmten Barometerstand bezeichnenden schwarzen Schiffe mit ihren Bewegungen benehmen, und ganz diese Bewegungen sind in der Wirklichkeit nachzuahmen. Der unbezweifelbare Wert des besprochenen Zyklonographen besteht darin, dass das eigene Nachdenken auf ein Minimum herabgedrückt und zugleich auch nur die Vornahme weniger, bald gewohnheitsmässig feststehender Einstellungen verlangt wird.

II. Küstenmeteorologie und Sturmwarnung.

Bald nachdem der in der napoleonischen Zeit zu recht hoher Vollendung gebrachte optische Telegraph von Chappe erdacht worden war, regte der Konvents-Abgeordnete Romme (1793) dessen Verwendung zur Ausgabe von Sturmsignalen an. Diese Anregung, sowie die später gegebene, viel bereiftere von Brandes konnten wenig nützen, so lange nicht die optische Zeichengebung durch die so gut wie gar keine Zeit in anspruch nehmende elektrische ersetzt war. Nunmehr aber entwickelte sich unter den Händen Buys-Ballots das Sturmwarnungswesen mit grösster Raschheit.*)

Auch die litorale Meteorologie rekurriert, wie sich von selbst versteht, für ihre Zwecke auf Barometerbeobachtung und Isobarenkarte. Wenn auf letzterer enge gescharte Kurven mit grossen Gradienten auftreten, wenn bei der Zentralstation Nachrichten aus dem Wetterwinkel — bei uns also aus Westen — einlaufen, welche für die Annäherung eines Sturmes sprechen, und wenn besonders auch an jenem Orte das drohende Sinken des Barometerstandes sich bemerklich macht, dann ist es an der Zeit, den amtlichen Apparat der Sturmwarnung in Thätigkeit zu setzen. Dies geschieht in der Weise, dass an die einzelnen Stationen der zunächst gefährdeten Küstenlinie der telegraphische Befehl erteilt wird, die Sturmsignale so zu geben, dass innerhalb des Gesichtskreises des betreffenden Ortes jedermann von der Sachlage überzeugt, das noch auf der See befindliche Schiff zum Aufsuchen eines sicheren

*) Buys-Ballot, Suggestions on a Uniform System of Meteorological Observations, Utrecht 1872. Eine der ersten das System in Deutschland bekannt machenden Schriften ist: Sohncke, Über Stürme und Sturmwarnungen, Berlin 1875. Die Einzelheiten der deutschen Einrichtungen enthält: Organisation des Systemes und der Arbeit des Küstenwarnungswesens und der Küstenmeteorologie, Hamburg 1878. Vgl. auch van Bebber, 2. Band. S. 86 ff.

Portes veranlasst, das noch vor Anker liegende dagegen vor dem Verlassen des Hafens gewarnt wird. Die Modalitäten der Signalgebung nun sind bei den einzelnen Völkern sehr verschieden; nur bemerkenswertere Eigentümlichkeiten können natürlich hier eine Besprechung finden.

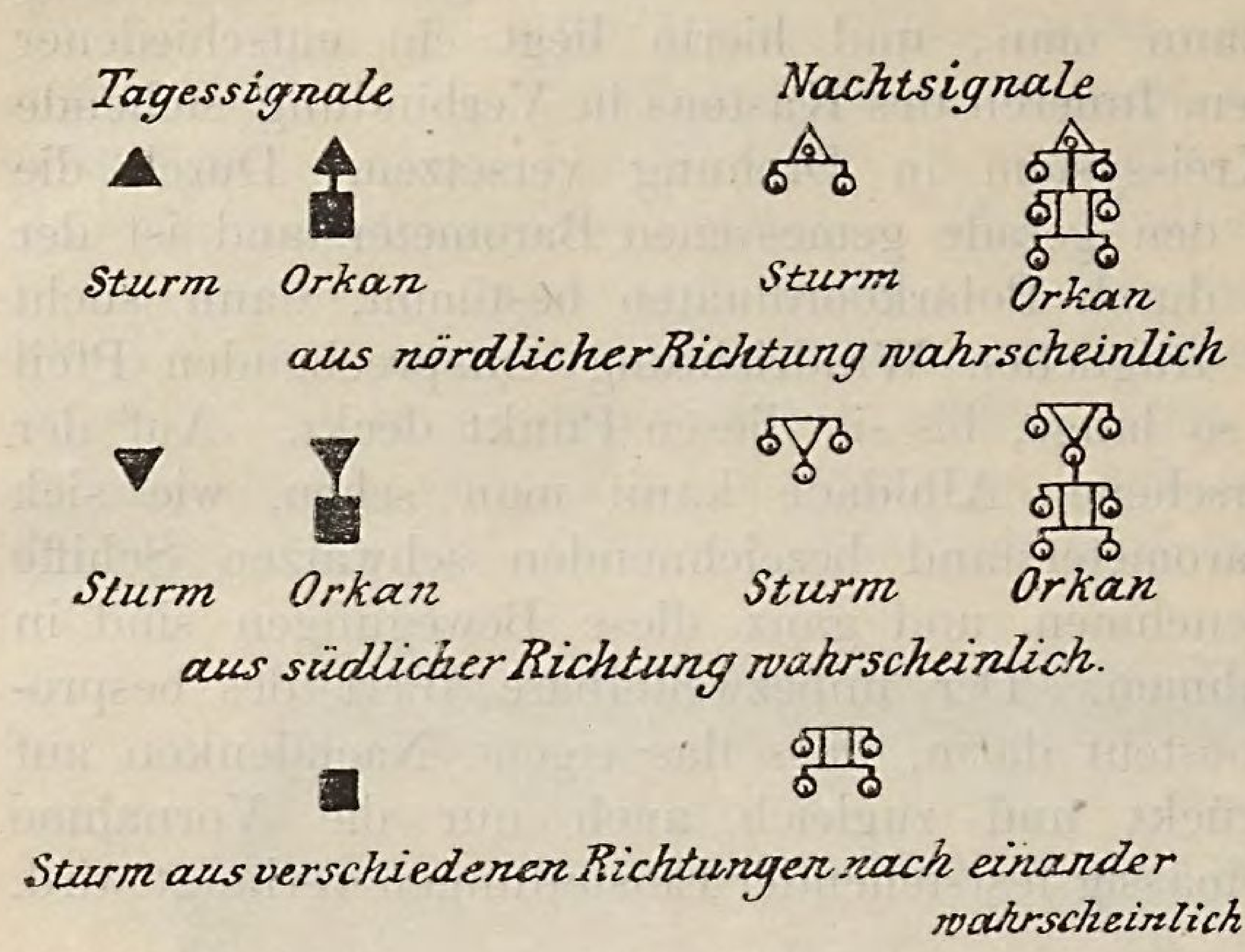


Fig. 57.

Fig. 57 macht uns mit dem Fitzroyschen, in Grossbritannien noch gegenwärtig beibehaltenen Verfahren bekannt; eine Kombination von Kegel und Zylinder — zur Kenntlichmachung der Formen dieser Körper dient zur Nachtzeit eine Verbindung von je drei oder vier Laternen — setzt den Schiffer über die Intensität und Richtung des zu erwartende Sturmes ins klare. Die Zeichensprache ist freilich eine sehr summarische, aber eben deshalb bereitet ihr Verständnis gar keine Schwierigkeiten; ob letzteres auch für den neuerdings in Holland eingeführten, ungleich feiner detaillierten Sturmwarnungsdienst in gleicher Weise gilt, das möchten wir dahingestellt sein lassen. Die niederländischen Häfen sind nämlich mit dem Aëroklinoskop, einer geistvollen Erfindung Buys-Ballots, ausgerüstet;*) durch geeignete Hebung und Senkung zweier Hebelarme kann Richtung und Grösse — einheitlich gesprochen also der Gradient — des Unterschiedes im Luftdrucke zur Anschauung gebracht werden, und es muss also der Beschauer schon einigermassen mit den Sturmgesetzen vertraut sein, um aus dieser Darstellung heraus sich über die wahrscheinliche Richtung und Stärke des Sturmes zu informieren. Im allgemeinen ist das englische System dasjenige, welches die meiste Nachbildung, wennschon mit mancherlei Modifikationen, erfahren hat.

Der Leser wird das Verlangen hegen, sich zunächst über die Form zu unterrichten, welche man in unserem Vaterlande dem Sturmwarnungswesen gegeben hat.**) Die deutschen Signalstellen zerfallen in solche erster und in solche zweiter Klasse, und die ersteren sind mit dem ganzen Vorrate von Signalkörpern ausgerüstet, mit Zylinder, Kegel und Kugel, sowie mit Signalflaggen. Die drei erwähnten Körper, in gehöriger Grösse aus Weidengeflechte hergestellt, markieren ausschliesslich die Stärke (Fig. 58), zwei rote Flaggen ebenso die Richtung des Windes. Wie diese Hilfsmittel im konkreten Falle verwendet werden, mag ein voll-

*) Sehr gründlich gibt die Schilderung des Aeroklinoskopes und seiner Handhabung J. Müller in seinem „Lehrbuch der kosmischen Physik“ (4. Auflage, S. 637 ff.)

**) van Bebber, 1. Band. S. 352 ff.

ständig ausgeführtes Schema nach van Bebber klar machen. „Die Signalstellen zweiter Klasse sind nur mit einer einfachen Stange versehen, woran nur ein Ball aufgezogen wird, um den Interessenten anzudeuten, dass ein Warnungstelegramm von der Seewarte eingelaufen ist, welches eine Störung der Atmosphäre anzeigt, und dessen Wortlaut an der Signalstelle zu erfahren ist. Das Sturmwarnungstelegramm, welches für beide Klassen der Signalstellen identisch ist, enthält kurz die Motive der Warnung und die Anordnung des Signales und soll sofort nach Ankunft in besonders dazu eingerichteten Kästen dem Publikum bekannt gemacht werden. Das aufgehisste Signal soll die zu erwartende Störung nicht speziell für den Ort selbst anzeigen, sondern andeuten, dass in der Umgebung dieses Ortes in einem Umfange von ca. 100 Seemeilen (185 km) Halbmesser stürmischer Wind oder ein Sturm aus der bezeichneten Richtung zu erwarten ist.“ Natürlich besitzen die Signalstellen die notwendigen meteorologischen Instrumente selbst, besorgen deren regelmässige Ablesung und senden ihre Aufzeichnungen wiederum an die Seewarte selbst ein. Der ersten Klasse gehörten 1876 an die Stationen Memel, Brüsterort, Pillau, Neufahrwasser, Rixhöft, Stolpmünde, Rügenwaldermünde, Colbergermünde, Swinemünde, Arcona, Dorsserort, Warnemünde, Travemünde, Marienleuchte, Friedrichsort, Schleimünde, diese sämmtlich am baltischen Meere, dann an der Nordsee und in den Aestuarien der sich in diese ergiessenden Ströme Glückstadt, Altona, Hamburg, Cuxhaven, Weserleuchtturm, Bremerhaven, Geestemünde, Wilhelmshaven, Wangerooge, Emden, Norderney und Borkum, welch letztere Inseln den Übergang zur niederländischen Stationenkette vermitteln. Einige Orte sind neuerdings teils durch staatliche teils durch private Fürsorge in dieses Netz noch mit einbezogen werden, so Neuwerk und Stralsund. Alles kommt natürlich auf eine rasche und sichere Übermittlung der Depeschen an; um dessen versichert zu sein, hat der Signalist den Empfang einer Warnung unverzüglich telegraphisch zu bestätigen. Von seiten der Zentralstelle werden jährlich die einzelnen Stationen inspiziert, damit der enge Kontakt zwischen den einzelnen Faktoren, welche zur Sicherung eines seinen Zweck erfüllenden Sturmwarnungsdienstes zusammenwirken müssen, ein möglichst intimer sei und bleibe. Um aber die ganze Sache auch möglichst volkstümlich zu machen,

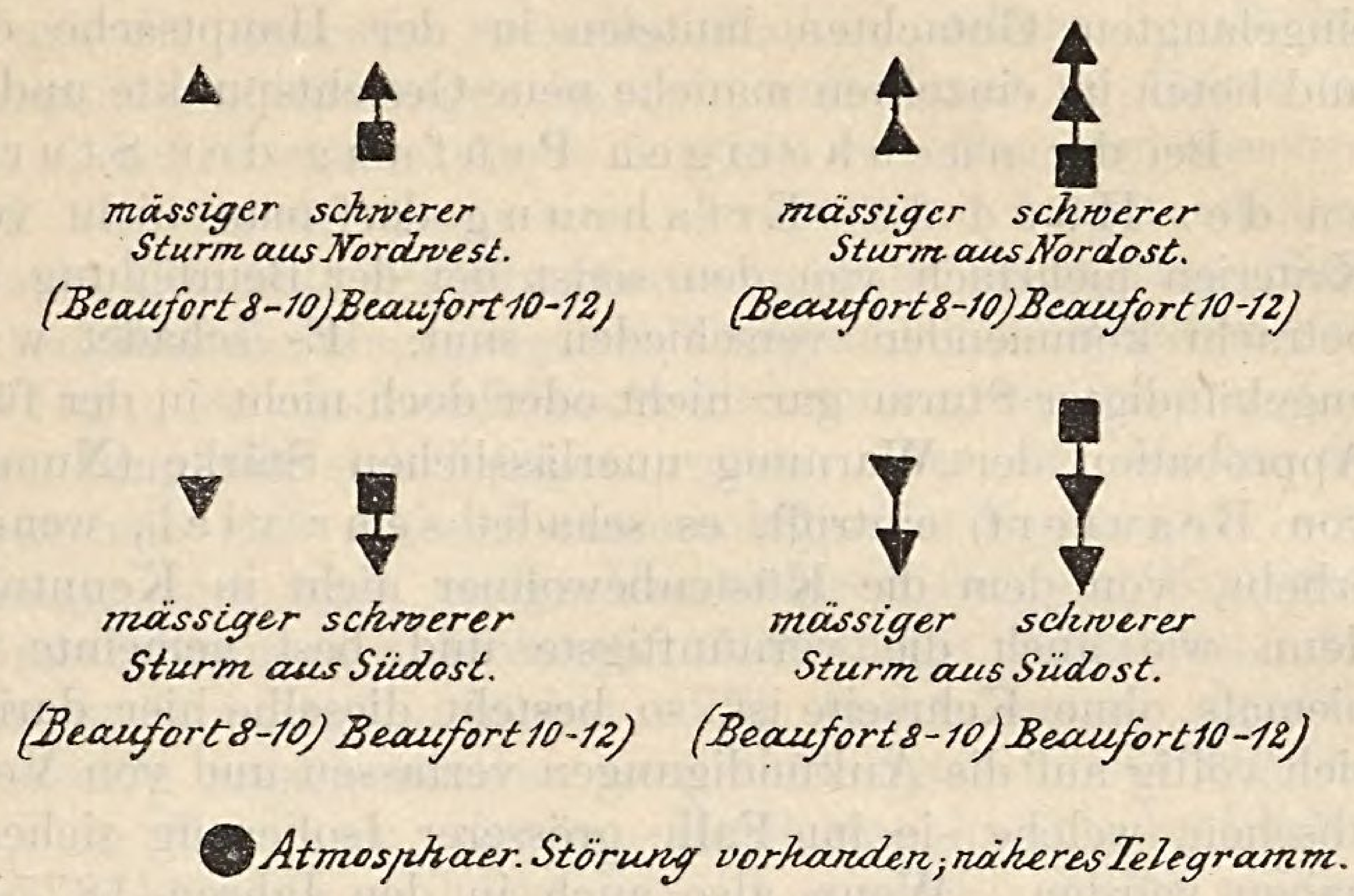


Fig. 58.

forderte man in Deutschland wie auch in England die Lootsenkommandeure, Hafenaufseher, Dirigenten der Signalstellen u. s. w. zu gutachtlicher Äusserung über die bisherigen Erfolge des Dienstes, seine Aufnahme in den Kreisen der berufsmässigen Schiffer auf; die hierauf eingelangten Gutachten lauteten in der Hauptsache durchweg günstig und boten im einzelnen manche neue Gesichtspunkte und Anregungen dar.

Bei der nachherigen Prüfung der Sturmwarnungen an der Hand der Erfahrung darf man nicht vergessen, dass die Kriterien mehrfach von den sonst bei der Beurteilung einer Prognose in betracht kommenden verschieden sind. Es schadet wenig, wenn ein angekündigter Sturm gar nicht oder doch nicht in der für die vollständige Approbation der Warnung unerlässlichen Stärke (Nummer 8 der Skale von Beaufort) eintrifft, es schadet sehr viel, wenn ein Sturm sich erhebt, von dem die Küstenbewohner nicht in Kenntnis gesetzt waren, denn wie auch die vernünftigste und best gemeinte Staatseinrichtung niemals ohne Kehrseite ist, so besteht dieselbe hier darin, dass die Leute sich völlig auf die Ankündigungen verlassen und von Vorsichtsmassregeln absehen, welche sie im Falle grösserer Isolierung sicherlich angewendet haben würden. Wenn also auch in den Jahren 1877—1885 von 100 Sturmwarnungen nur 55 sich als vollberechtigt erwiesen, wogegen 45 insofern über ihr Ziel hinausschossen, als der Wind, obwohl lebhaft, sich doch nicht bis zu der als wahrscheinlich angenommenen Intensität erhob, so wird man dieses Ergebnis gewis nicht als ein ungünstiges bezeichnen dürfen.

In neuester Zeit ist auch der Versuch gemacht worden, Sturmwarnungen auf längere Zeit hinaus zu erlassen. Der treffliche Hoffmeyer hatte mit rücksicht auf die uns bekannte Thatsache, dass die barometrischen Depressionen und Sturmzentren von Westen her auf annähernd bekannten Wegen über den atlantischen Ozean fortschreiten, die Möglichkeit erwogen,*) durch aus Nordamerika bezogene Kabelmitteilungen die westeuropaeischen Küsten schon ein paar Tage vor dem Eintreffen der Orkane von deren Kommen in Kenntnis zu setzen; seine zunächst rein theoretischen Darlegungen wurden von der Redaktion des „New York Herald“ versuchsweise zur Einrichtung eines solchen Depeschensystemes benützt. Doch müssen wir mit van Bebber**) dieses denn auch bald wieder aufgegebenen Unternehmen als verfrüht erachten, denn wir wissen doch noch viel zu wenig von den Zugstrassen der Minima, von ihrer durchschnittlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit und von dem Entstehen der ozeanischen Teildepressionen, durch welches das Vorrücken der ersteren erheblich modifiziert, verlangsamt, abgelenkt oder auch zu gänzlichem Aufhören gebracht werden kann.

III. Witterungsprognose im engeren Sinne.

Wir sprechen in diesem Abschnitte ausschliessend von denjenigen Bestrebungen, durch welche binnenländischen Orten die Möglichkeit

*) Hoffmeyer, Étude sur les tempêtes de l'Atlantique septentrional relatif à cet océan, Kopenhagen 1880.

**) van Bebber, 2. Band. S. 432.

einer ungefähren Vorausbestimmung der Wetterlage verschafft werden soll; zunächst soll nur die Vorausbestimmung für die nächste Folgezeit, also etwa für den kommenden Tag, den Gegenstand unserer Untersuchung bilden. Wir nehmen an, dass wiederum eine Zentralstelle, als welche wir uns die deutsche Seewarte denken wollen, im Besitze zahlreicher Korrespondenzmitteilungen ist; wir wollen uns im Geiste für einen Tag in die Geschäftsräume dieser Anstalt versetzen und zusehen, welchen Eindruck wir von der darin sich abwickelnden Arbeit erhalten.

Früh um acht Uhr tritt der den Dienst habende Beamte an seinen Arbeitstisch und eröffnet die eingegangenen Telegramme. Dieselben sind natürlich chiffriert, da eine ausführliche Stilisierung des Inhaltes Zeit- und Geldverschwendung mit sich bringen würde; über den Modus der Chiffernsprache hat man sich auf den meteorologischen Kongressen (s. o.) vollkommen geeinigt, doch sind einige Unterschiede für den Kontinent einerseits und Grossbritannien andererseits naturgemäss vorhanden, weil dieses sich leider noch immer nicht hat willig finden lassen, ebenfalls zu dem sonst allseitig angenommenen metrischen Systeme überzugehen. Hören wir, wie van Bebber, dem an Erfahrung im telegraphischen Wetterdienste sich wohl nicht so leicht jemand zur Seite stellen möchte, die Besonderheiten der chiffrierten Wettertelegramme schildert.*) „Die Depeschen bestehen aus fünfstelligen Ziffergruppen, denen etwaige Bemerkungen in Worten beigefügt werden. Durch die Stellung der Ziffern in Gruppen und die Reihenfolge der Gruppen ist der Sinn jeder Ziffer völlig bestimmt; in allen Angaben kommen die Zehner, Einer, Zehntel und Hundertel unabänderlich auf ihre bestimmten Plätze; Stellen, für die keine Zahl zu geben ist, werden durch Nullen ausgefüllt, so dass die Zahl der Zeichen in der Gruppe stets 5 bleibt.“ Ebenfalls nach van Bebber geben wir das Schema einer vollständigen Witterungsdepesche für den Kontinent:

	gestern Abend		heute Morgen			
Gruppe	I	II	III	IV	V	VI
	BBBWW	SHTTT	BBBWW	SHTTT	T́T́T́RR	MMmmG.

Hier bedeutet BBB den Barometerstand**) mit Weglassung der Millimeter-Hunderter, so dass also die drei Zahlen 5 4 3 eine Höhe der Quecksilbersäule von 754,3 mm signalisieren; die Zahl 7 gilt als selbstverständlich. WW ist die Windrichtung; der Horizontalkreis wird in 32 gleiche Teile oder Striche eingeteilt, und eine Zahl von zwei Ziffern (< 32) entspricht also immer einer bestimmten Weltgegend; Nord ist z. B. = 00 oder = 32, Nordost = 04, Südost = 12 u. s. w. Man hat sich dahin verständigt, überhaupt nur grade Zahlen in das Tele-

*) Ibid. 1. Band. S. 308.

**) Bei der Angabe der Barometerstände wird vorausgesetzt, dieselben seien bereits von allen Instrumentalfehlern befreit und, der Vergleichbarkeit halber, auf das Meeresniveau reduziert. Letztere Arbeit, welche sich wesentlich auf die im ersten Hauptstücke besprochene Formel der barometrischen Höhenrechnung gründet, kann durch graphischen Kalkul mit Hilfe von Diogrammen — ein sehr brauchbares hat Schubring konstruiert — erheblich vereinfacht werden.

gramm aufzunehmen. Windstille würde an sich in dieser Zeichensprache nicht auszudrücken sein, weshalb beschlossen wurde, für Nord ausschliesslich die Zahl 32 und für absolute Stille der Atmosphäre ebenso die Zahl 00 zu reservieren. S gibt die Windstärke in Beaufortschen Masszahlen. H ist der Anfangsbuchstabe des Wortes Hydrometeore; damit auch dieser Platz durch eine Zahl ausgefüllt werden könne, hat man den Ziffern die nachstehende, an sich willkürlich gewählte Bedeutung beigelegt:

0 = wolkenlos	3 = $^3/_4$ bedeckt	6 = Schnee
1 = $^1/_4$ bedeckt	4 = ganz bedeckt	7 = Dunst oder Höhenrauch
2 = $^1/_2$ bedeckt	5 = Regen	8 = Nebel.

Ein von elektrischen Entladungen begleiteter Sturm (Gewitter) hat die Ziffer 9. Die drei Buchstaben T geben die Temperatur des trockenen, die drei Buchstaben T' ebenso die Temperatur des feuchten Thermometers im Psychrometer an, so dass die letzte Ziffer immer als Zehntel aufzufassen ist; 0 6 3 sagt also aus, dass die Ablesung von 6,3° C. gemacht ist. Um bequem die Kältegrade ausdrücken zu können, addiert man zu diesen jeweils die konstante Zahl 50 hinzu: ergab die Ablesung — 12,4°, so telegraphiert man die Differenz 50° — 12,4° = 37,6° = 376. Die Jahreszeit gibt eine Gewähr dafür, dass die Zahl nicht falsch gedeutet werden kann. RR charakterisiert die von gestern 8 bis heute 8 Uhr morgens gefallene Niederschlagsmenge in ganzen Millimetern, MM die Temperatur des Maximalthermometers, mm diejenige des Minimumthermometers, beide nur in ganzen Zahlen, G endlich dient der Angabe des Seeganges oder — nach neuerer Festsetzung — der Charakteristik der Wolken in folgendem Sinne:

0 = wolkenloser, blassblauer Himmel
1 = Zirruswölkchen,
2 = Zirrostratuswolken
3 = Zirrokumuluswolken
4 = Kumulus- und Kumulostratuswolken
5 = Stratus- und Stratokumuluswolken
6 = schwere, dunkle Wolken
7 = mehrere Schichten über einander
8 = einförmig-grauer Himmel
9 = wolkenlos-blauer Himmel.

Zur besseren Übersicht wollen wir nun noch, mit Wiedergabe des Schlüssels, eine wirklich eingelaufene Witterungsdepesche reproduzieren und sodann dechiffrieren:

B B B W W	S H T T T	T' T' T' R R	M M m m G
6 2 1 1 4	5 6 0 2 8	4 9 7 0 9	0 4 5 3 8

Das bedeutet also: Der vorschriftsmässig reduzierte Barometerstand betrug 762,1 mm; der Strich der herrschenden Windrichtung war Südsüdost, es wehte frischer Wind und schneite dazu; das trockene Thermometer stand auf 2,8°, das nasse auf + 50° — 49,7° = + 0,3°; von gestern bis heute belief sich die Regenhöhe auf 9 mm; die höchste erreichte Luftwärme war + 4°, die niedrigste + 50° — 53° = — 3°, und am Himmel war nur eine einförmige graue Wolkendecke zu konstatieren.

Es versteht sich von selbst, dass nach einiger Übung der Stationsbeamte die Chiffern ebenso abliest, als stünden die gewöhnlichen Zahlen und Worte vor ihm. In neuester Zeit, nachdem durch die schönen Untersuchungen von Ley und Hildebrandsson die grosse Wichtigkeit der Wolkenbeobachtung für die Wetterprognose evident geworden war, hat die Seewarte noch eine besondere Chiffrengruppe für die Beschaffenheit und Bewegungsrichtung der oberen Wolken den oben gekennzeichneten Gruppen hinzugefügt.*)

Wir denken uns, die Lesung der eingelaufenen Drahtberichte sei beendet, das ganze Rohmaterial befinde sich im Besitze des Bearbeiters; jetzt kommt es darauf an, jenes systematisch und in möglichst kurzer Zeit für eine zusammenfassende Prognose zu verwerten. Zu dem Ende bedarf es zunächst der Herstellung der Übersichtskarten. An der deutschen Seewarte werden in der Zeit mit ruhigerem Wetter (Anfang Mai bis Mitte September) täglich sieben, in der übrigen minder ruhigen Zeit täglich zehn Karten entworfen, nämlich fünf am Vormittage, zwei am Nachmittage und drei am Abend. Luftdruck, Wind, Bewölkung, Temperatur, Seegang werden in diese Karten entweder für sich oder in wechselseitiger Kombination eingezeichnet.**) „Nachdem man aus den verschiedenen Arbeitskarten eine genügende Übersicht der Witterung und ein Urteil über die Änderungstendenz desselben gewonnen hat, wird für die Hafentelegramme an die deutschen Nord- und Ostseehäfen, sowie für das Abonnementstelegramm, welches alle grösseren Zeitungen beziehen, für welch beide der tabellarische Teil schon fertiggestellt wurde, eine Witterungsübersicht gegeben und jedes der beiden Telegramme sofort gleichzeitig an das Hauptamt befördert, das einzelne Hafentelegramm durch den Apparat der Seewarte, das Abonnementstelegramm durch einen Boten, welcher auch gleichzeitig eine Anzahl anderer Telegramme besorgt, die sonst eine Verzögerung erleiden würden. Der Abgang beider Telegramme erfolgt um Mittag oder kurz nachher.“ Die meteorologischen Zentralstellen der süddeutschen Länder bekommen sogar auch die Mittel zur Nachbildung der Isobarenkarten durch den Draht zugefertigt. Ganz Mitteleuropa, das Wort im weitesten Sinne genommen, ist in ein Quadrat einbezogen, dessen vier Ecken in die Länder Altcastilien, Bosnien, Nordost-Finland und in den Atlantik (nordwestlich von den Fär-Öer) fallen; dieses Quadrat ist in neun grössere und jedes dieser grösseren ist wieder in hundert kleinere Quadrate geteilt, und jedes dieser letzteren führt die übliche Koordinatenbezeichnung. Nennt man die Zahlen 8, 7, 3, so weiss der Kundige, dass im mittleren Hauptquadrate der untersten Horizontalreihe das siebente Einzelquadrat

*) van Bebber, 2. Band. S. 49.

**) Zwei Karten dienen beispielsweise zur Darstellung der Veränderungen, welche Luftdruck und Temperatur in den letzten 24 Stunden erfahren haben. Zuletzt werden für den Morgen die Isothermen und für Morgen und Abend die dem Meeresspiegel entsprechenden Isobaren, letztere je um 5 mm fortschreitend, konstruiert. Die Lage dieser letzteren ist es ja, welche in Verbindung mit dem Gesetze von Buys-Ballot die herrschenden Luftströmungen und damit den einflussreichsten Faktor bei der Gestaltung der Wetterlage erkennen lassen. Ein je dichteres Netz von Isobaren sich herstellen lässt, umso besser für die Sicherheit der Prognose.

der dritten Zeile (von unten an gerechnet) gemeint ist; dasselbe enthält die Stadt Florenz in sich. Durch Mitteilung einer gehörigen Anzahl solcher dreigliedriger Zahlengruppen wird der Empfänger befähigt, das Diagramm der Isobaren genau so durch Verbindung einzelner Punkte nachzuzeichnen, wie es die Seewarte selbst angefertigt hatte. Diese letztere drängt alle ihre Wahrnehmungen in einen „Wetterbericht" zusammen, welcher die eigentliche Prognose bereits in nuce in sich schliesst. Ein typisches Beispiel van Bebbers ist das folgende*): „Ein hohes barometrisches Maximum von 780 mm hat sich über Finland ausgebildet, einen Ausläufer nach Südbritannien entsendend, so dass über Mittel- und Südeuropa nördliche bis östliche Winde vorherrschend sind, welche im Norden meist schwach, im Süden vielfach stark auftreten. Triest meldet stürmischen Ostnordost. Über Zentraleuropa ist das Wetter trübe, vielfach zu Schneefällen geneigt; die Temperatur ist im Norden durchschnittlich nahezu normal, im Süden liegt sie erheblich, bis zu 9°, unter der normalen." Früher wurden daraufhin generelle Prognosen von der Seewarte ausgearbeitet und den einzelnen darauf reflektierenden Stellen mit Hilfe eines Chiffrensystemes zugefertigt, welches von O. Krause**) in Vorschlag gebracht und in Hamburg mit einigen Abänderungen angenommen worden war; später ist man, grossenteils wegen der durch die exponierte Lage Hamburgs bedingten Schwierigkeit einer zureichend genauen Prognose für Gesamtdeutschland, von der Ausgabe dieser Prognose wieder abgekommen.***) Die stilistische Einkleidung der Wetterverkündigungen hat schon vielfach den Spott derjenigen erregt, welche übertriebene und undurchführbare Anforderungen an die Wissenschaft stellten; wer aber die üblichen Wortbildungen und Einkleidungsformen vorurteilslos würdigt †), wird zugeben müssen, dass nicht wohl anders gehandelt werden kann.

Blosse Beschreibung wird überhaupt niemals genügende Dienste leisten, und wenn das grössere Publikum aus dem telegraphischen Wetterdienste denjenigen Vorteil wirklich zu ziehen den ernsten Willen hat, welchen jener zu gewähren vermag, so muss es sich an das meteorologische Kartenlesen gewöhnen, selbst die Isobarenkarte verstehen und die von der lokalen Wetterlage geforderten Korrektionen anbringen lernen. Ursprünglich erschien es sehr schwierig, die Tageskarten in den Zeitungen

*) van Bebber, 1. Band. S. 364.

**) Krause, Ein Vorschlag, Witterungsnachrichten in Deutschland rasch zu verbreiten, Annaberg i. S. 1880.

***) Als Beleg für das geringe Verständnis, welches selbst „höhere" Kreise der praktischen Meteorologie entgegenbringen, mag ein Vorkommnis dienen, welches vor mehreren Jahren in den Zeitungen viel erörtert wurde. Im äussersten Südosten Preussens hatten starke Regengüsse, gefolgt von Hochfluten, schweres Unheil angerichtet, und von seiten schlesischer Grossgrundbesitzer wurde Klage darüber geführt, dass die Seewarte nicht ausdrücklich auf diese Naturereignisse als bevorstehend hingewiesen habe! Als ob von Hamburg aus die Entstehung des Teilminimums hätte kontroliert werden können, welches sich wahrscheinlich über dem schlesisch-böhmischen Grenzgebirge gebildet hatte. Wäre letzteres damals schon mit Lokalstationen besetzt gewesen, welche die Prognose der Seewarte entsprechend umzuarbeiten in der Lage gewesen wären, so wären auch jene Wolkenbrüche schwerlich ganz unerwartet gekommen.

†) van Bebber, 2. Band. S. 55.

zum Abdrucke zu bringen, allein die „Times“ wussten, mittelst eines von S h a n k s und J o h n s o n erfundenen Gravierpantographen, bereits 1875 aller Schwierigkeiten Herr zu werden. Ein anderes, das „chemigraphische Reproduktionsverfahren“ ist das geistige Eigentum des uns als geschickter Konstrukteur meteorologischer Registrierapparate bekannten Dänen R u n g, und dieses ist, nachdem man deutscherseits es dem Erfinder abgekauft, bei verschiedenen unserer inländischer Tagesblätter im Gebrauche. Auch der öffentliche Anschlag der Karten, der in Nordamerika in besonders ausgedehntem Umfange betrieben wird, erleichtert es dem Volke, sich mit der von den Diagrammen gesprochenen Sprache vertraut zu machen. Auch abgesehen von dieser letzteren muss derjenige, der die in der Presse mitgeteilten Prognosen verstehen will, mancherlei Symbolik sich aneignen, denn auch die verschiedenen meteorologischen Erscheinungen werden durch Chiffren dargestellt. Jeder Witterungsbericht enthält einige der Zeichen, welche in ihrer Gesamtheit die folgende Tabelle vorführt:

Regen	•	Reif	╨	Sonnenhof	⦶
Schnee	✻	Thau	o̲	Mondring	⩌
Gewitter	↯	Rauhfrost	V	Mondhof	⩌
Wetterleuchten	<	Glatteis	∾	Regenbogen	⌒
Hagel	▲	Schneegestöber	⇢	Nordlicht	⌒
Graupeln	△	Eisnadeln	←	Höhenrauch	∞
Nebel	≡	Sonnenring	⊕		

Die Windrichtung ist, wie sich von selbst versteht, ein Pfeil, dessen Spitze die Richtung andeutet, nach welcher der Wind hinweht; um aber auch für die Stärke ein anschauliches Bild zu erhalten, wird der Pfeil mehrfach gefiedert, so dass also ≡\ einen doppelt so starken Wind darstellt als =\. Auf gewisse Abänderungen, welche obige Symbole in anderen Ländern erfahren haben, und von denen v a n B e b b e r ausführlich Bericht erstattet,*) glauben wir an dieser Stelle nicht besonders eingehen zu sollen.

Wir treten jetzt der Aufgabe näher, mit Zugrundelegung der Wetterkarten eine brauchbare Prognose zu erstellen. Zunächst ist für den, dem die Lösung dieser Aufgabe obliegt, eine gewisse Bekanntschaft mit dem klimatischen Charakter seines Aufenthaltsortes notwendig. Sodann bedarf es gründlichster Vertrautheit mit den mechanischen Gesetzen der Windbewegung, mit dem Gegensatze zwischen Antizyklonen und Zyklonen sowie mit den Bahnen, welche nach den Erfahrungen der Neuzeit die barometrischen Depressionen mit Vorliebe einschlagen. Hieran knüpft sich, als eine sehr wertvolle Beihilfe für die prognostische Arbeit, eine möglichst genaue Kenntnis der über W e t t e r t y p e n angestellten Forschungen von H o f f m e y e r, T e i s s e r e n c d e B o r t und v a n B e b b e r, durch welche Luftdruck- und Temperaturverteilung für die Umgebung des auf einer bestimmten Zugstrasse herannahenden Minimums sich schon a priori mit einem gewissen Masse von Wahrscheinlichkeit bestimmen lassen. In der Hand des Prognostizierenden befinden sich tabellarische Zusammenstellungen, aus denen er ersieht, wie sich

*) v a n B e b b e r, 2. Band. S. 55.

bisher für einen bestimmten Landesteil Winde, Temperatur, Bewölkung u. s. w. an den einzelnen der Ankunft der Depression auf dieser oder jener Zugstrasse vorausgehenden Tagen gewöhnlich verhalten haben; zieht er diese Zusammenstellungen zu rate, so kann er ungefähr den Grad der Probabilität berechnen, mit welcher er den fraglichen Tag als heiter oder regnerisch, als von einer Temperatur-Steigerung oder Abnahme beherrscht vorausbestimmt. Speziell für die über England hinstreichenden Zyklonen hat Abercromby, von dessen Individualcharakteristiken der atmosphaerischen Gleichgewichtsstörungen bereits im zweiten Hauptstücke die Sprache war, die Einflüsse genauer zu ermitteln versucht, welche das Auftreten einer Zyklone der Art nach modifizieren können. Hat eine Zyklone z. B. die Gestalt eines V, was allerdings meist nur eine kurzlebige Bildung zu sein pflegt, so weiss man im voraus, dass auf der Vorderseite der Isobaren-Ausbuchtung starker Regen im Gefolge von südwestlichen Winden auftritt, während auf der Rückseite böenartige, nach Nordwest umsetzende Winde das Steigen des Barometers und das Zerreissen der Wolkendecke begleiten.*) In Italien hat man sich viele Mühe mit der Gewitterprognose gegeben, allein obwohl kein geringerer als Schiaparelli**) seine Kräfte auf diesem noch wenig kultiviertem Arbeitsfelde bethätigte, ist man von der Erreichung zufriedenstellender Resultate doch noch weit entfernt.

Soweit wir die prognostische Thätigkeit bislang verfolgten, war sie ausschliesslich durch die allgemeine Wetterlage und deren stetige Umbildung beherrscht. Für das Flachland, selbst wenn sich auf demselben einzelne Kuppen oder niedrige Gebirgszüge erheben, ist auch jene mit fast suveräner Ausschliesslichkeit massgebend; anders in der Nähe des Meeres und am Rande oder im Inneren ausgedehnterer Gebirge, wo die lokalen Einwirkungen das Wetterbild unter Umständen allerdings von Grund aus zu verändern imstande sind. Die Art und Weise freilich, wie diesen Einwirkungen Rechnung zu tragen wäre, ist nicht leicht in feste Formen zu bringen, vorläufig wird dem individuellen Ermessen des einzelnen noch ein grosser Spielraum gelassen werden müssen; gleichwohl können wir über die Bedeutung der Lokalprognose oder, besser gesagt, der von den lokalen Verhältnissen geforderten Abänderungen der allgemeinen Prognose nicht ganz so skeptisch denken, wie dies z. B. Billwiller thut.***) Man muss nur diese Zusatzthätigkeit, welche freilich stets nur einen sekundären Charakter haben wird, richtig verstehen und darf ihr nicht mehr aufbürden, als sie zu leisten befähigt ist. In dieser Hinsicht finden wir sehr beherzigenswerte Worte bei van Bebber.†) „Andererseits“ — vorher waren die Aspirationen der isoliert vorgehenden Prognose zurückgewiesen worden — „sind die lokalen Beobachtungen der Änderungen der meteorologischen Elemente in Anlehnung an die allgemeine Wetterlage für die Wetter-

*) van Bebber, 2. Band. S. 373.

**) Schiaparelli - Frisiani, Sui temporali observati nell'Italia superiore durante l'anno 1877, Mailand 1880.

***) Billwiller, Bericht der meteorologischen Zentralstation Zürich über den Gang der Witterungsprognosen im Jahre 1880, Zürich 1880.

†) van Bebber, 2. Band. S. 386.

prognose von hoher Bedeutung, und es kann hiedurch die Brauchbarkeit derselben erheblich erhöht werden. Meiner Ansicht nach besteht aber der Wert der Anwendung dieser lokalen Anzeichen auf die Prognose insbesondere darin, dass wir unter dem frischen Eindrucke der Witterungserscheinungen die Änderungstendenzen am Orte intensiver verfolgen und ein gegründetes Urteil darüber gewinnen können, in welcher Weise sich die Veränderungen der allgemeinen Wetterlage für die betreffende Gegend vollziehen werden.“ Zumal das Studium der Wolken sollte von den Lokalbeobachtern mit aller Sorgfalt betrieben werden, denn es ist eine — durch das Beispiel Cl. Leys glänzend bestätigte — Thatsache, dass ein gründlicher Kenner der einem Orte eigentümlichen Wolkenformen aus unwesentlichen morphologischen Wahrnehmungen prognostische Regeln zu abstrahieren vermag, welche ihm keine Isobarenkarte geliefert hätte. Neben Ley sind nach dieser Richtung in Deutschland Böcker und Richter sehr thätig gewesen; ihre empirischen Ermittlungen wollen und sollen allerdings den Meteorologen der Notwendigkeit, von der im Kartenbilde sich ausprägenden Wetterlage auszugehen, nicht überheben.

Wir haben der Vorausbestimmung der Witterung bei allen unseren bisherigen Betrachtungen zeitlich stets nur ein sehr bescheidenes Ziel gestellt und nur verlangt, dass für den nächstfolgenden Tag der Wettercharakter nach seinen allgemeinen Zügen zutreffend erkannt werden soll. Wirklich werden wir uns damit auch noch für lange begnügen und sogar recht zufrieden sein müssen, wenn nur diese so enge begrenzte Frage einer immer exakteren Lösung wird entgegengeführt werden können. Da jedoch anlässlich der Sturmwarnungen eines freilich nicht mit Erfolg gekrönten Versuches gedacht werden musste, für eine weitere Folgezeit die Witterung vorherzusagen, so müssen wir jetzt, nachdem wir den momentanen Stand der Prognose gewürdigt haben, auf diesen Versuch, jener ein ungleich weiteres Operationsfeld zu verschaffen, mit einigen Worten zurückkommen.

Es kann keine Frage sein, dass, wenn wir von der Luftdruckverteilung über dem atlantischen Ozeane, der nun einmal der Wettermacher für Europa ist, ein ganz getreues, einem bestimmten Zeitpunkte entsprechendes Bild besässen, aus diesem Bilde Schlüsse zu ziehen wären, die für eine ganze Reihe von Tagen und selbst Wochen ihre Kraft nicht verlieren würden. Die Ausbildung der maritimen Meteorologie, die Verfeinerung der synoptischen Wetterkarten des Atlantik*), die Erweiterung unseres europaeischen Beobachtungsnetzes auf fernere ozeanische Punkte sind also von uns besonders ins Auge zu fassen. So wie jetzt die Dinge liegen, vermögen wir zwar wohl zu erkennen, dass und welche Depressionen über dem Meere liegen, allein die richtige Unterscheidung

*) Eine sehr wertvolle Hilfe ist uns neuerdings von Teisserenc de Bort in seinem „Atlas de météorologie maritime“ (Paris 1887) dargeboten worden. Auf 33 Karten führt uns derselbe in die tiefere Kenntnis der Wind- und Wärmeverteilung über den verschiedenen Meeren, vornämlich aber über dem Atlantik ein. Interessante Ausnahmsfälle, wie sie z. B. beim Eindringen eines Minimums zwischen zwei Gebiete hohen Druckes eintreten müssen, werden uns hier nicht nach dem von der Theorie entworfenen schematischen Bilde, sondern treulich nach der Wirklichkeit vor das Auge gestellt. Auch die „Pilot-Charts“ der Union sind von hohem Werte.

zwischen den Machtsphären der einzelnen Depressionen zu treffen, wird uns nicht leicht gelingen. Darauf aber läuft die Sache hinaus, denn es gilt Hoffmeyers Schlussatz *): „Der Charakter des Wetters, welches über Nordeuropa herrscht, hängt ganz und gar von der Herrschaft ab, welche das eine oder andere der barometrischen Minima des nordatlantischen Ozeanes erlangt.“ Durch Hoffmeyers Genossen in der Erforschung dieser sonst noch wenig gepflegten Verhältnisse**) ist unsere Aufmerksamkeit zugleich auf die hinsichtlich ihrer Bedeutung und ihres Einflusses früher fast verkannten barometrischen Elevationen gelenkt worden; neben den Depressionen gibt es stets auch einige superozeanische Maxima, und nur wenn deren momentane Lage neben derjenigen der Minima richtig ermittelt ist, weiss man wirklich bescheid mit den Lokalitäten, welche Teisserenc de Bort als grosse Aktionszentren der Atmosphaere bezeichnet. Ein solches für uns unmittelbar wichtiges Aktionszentrum ist das zwischen den Azoren, Madeira und Spanien eingelagerte grosse Maximum, welches sich westwärts bis zu den Bermudas-Inseln erstreckt. Rückt dasselbe mehr östlich, ohne an Breite einzubüssen, so bringen uns die dann über Westeuropa hereinwehenden Winde ozeanisch-temperierte Luft und einen milden Winter, rückt es noch weiter östlich, so dass es sich oberhalb des europaeischen Festlandes befindet, so gelangen überhaupt keine Seewinde mehr in unsere Binnenregionen, das Wetter wird kühl, bleibt aber, da kein Minimum sich weit um befindet, andauernd heiter; wenn aber das Maximum mehr nach Norden, zu den britischen Inseln verlegt wird, so müssen bei uns nordwestliche Winde mit Schneefall und nasskaltem Wetter ihr Regiment ausüben. Dieser Einfluss des einen Aktionszentrums kann sich aber nicht ungeschwächt offenbaren, da auch das zweite Zentrum, gegliedert nach den Depressionen des nordatlantischen Meeres, ein kräftiges Wort mitspricht. Zerfällt dieses zweite Zentrum in je ein Minimum über dem Eismeere und über der grönländischen Küste, so wird der Winter Nordeuropas voraussichtlich ein milder, weiter nach Süden gelangt man in das vom Maximum beherrschte Gebiet, so dass also, wofern etwa dieses die erste seiner oben erwähnten drei Lagen annimmt, geringe Winterkälte für den überwiegenden Teil unseres Kontinentes mit grosser Wahrscheinlichkeit prognostiziert werden darf. Und so in ähnlichen Fällen, auf deren gesonderte Aufzählung und Diskussion sich dieser Leitfaden begreiflicherweise nicht einlassen kann. Hoffmeyer hat, um möglichst das gleichartige zusammenzufassen, fünf verschiedene Wintertypen als normativ definiert und zugleich die Luftdruckverteilung bestimmt, aus welcher die Neigung des Winters hervorgehen muss, den einen oder anderen Typus anzunehmen.

*) van Bebber, 2. Band. S. 421.

**) Das neue Studiengebiet nimmt eine Mittelstellung ein. Während die dynamische Meteorologie allgemeine Gesetze formuliert, deren Wirksamkeit sich aus dem Wirrsale der Einzelerscheinungen oft nur mühsam herausschälen lässt, während die synoptische Meteorologie sich meist nur an die Wetterlage des Tages und die hieran zu knüpfende Momentanprognose hält, sucht die Lehre von den Wettertypen beide Arbeitsgebiete zu verbinden, das erstere zu spezialisieren, das letztere durch Verallgemeinerung auf eine höhere Stufe zu heben.

Wieder eine andere Klasse hieher gehöriger Untersuchungen ist gegeben durch die von W. K o e p p e n in angriff genommene rationelle Betrachtung der A u f e i n a n d e r f o l g e d e r u n p e r i o d i s c h e n W i t t e r u n g s e r s c h e i n u n g e n.*) Die Fragestellung ist hiebei die: In welchem Masse sind W e t t e r w e c h s e l nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu erwarten, wenn eine bestimmte Folge gleichförmiger Tage vorangegangen war? Man erkennt bei Beantwortung dieser Frage, die natürlich nur nach den Regeln einer geläuterten Statistik erfolgen kann, bei welchen Winden die E r h a l t u n g s t e n d e n z die grösste ist. Am schwächsten erweist sich dieselbe unter der Herrschaft der Nordwest- und der Südwinde. Auch fällt einiges Licht auf die wahre Bedeutung der sogenannten L o s t a g e, welche in den „Bauernregeln" den Witterungscharakter einer kürzeren oder längeren Periode bestimmen. Wie häufig begegnen wir hier einem Körnchen von Wahrheit inmitten einer Anhäufung irriger Vorstellungen, denn in der That gibt es Tage im Jahre, an denen „die Tendenz zur Erhaltung auch ungewöhnlicher Witterungsverhältnisse sehr beträchtlich ist".

Schliesslich darf auch von jenen Bestrebungen nicht gänzlich geschwiegen werden, welche auf Zerlegung eines Territoriums in eine grössere oder geringere Anzahl e i n h e i t l i c h e r P r o g n o s e n b e z i r k e abzielen. Wenn z. B. L. M e y e r**) an der Hand der Bewölkungsverhältnisse das Königreich Württemberg in drei meteorologische Hauptgebiete teilt***), so ist damit auch ein Fingerzeig dafür gegeben, dass man die lokale Korrektur der allgemeinen Prognose auch für jeden dieser drei Bezirke am besten gesondert geben und auf die durch geschichtliche Ereignisse gezogenen politischen Grenzen wenig Rücksicht nehmen wird. Auch Bayern wird, wenn man die Verteilung der Niederzchläge als massgebend anerkennt, nach F. H o r n***) am besten in vier Distrikte eingeteilt, die innerhalb ihrer Grenzen durch eine gewisse Gleichförmigkeit der Witterungsverhältnisse ausgezeichnet sind. —

Noch übrigt es, die Mittel, über welche man behufs P r ü f u n g d e r R i c h t i g k e i t e i n e r P r o g n o s e verfügt, in kurze Erwägung zu ziehen. Amerikanische Meteorologen, F i n l e y, P e i r c e und G i l b e r t haben der Prognosenprüfung eine mathematische Einkleidung zu geben versucht; dass aber über die beste Formel sehr verschiedene Ansichten vorhanden und relativ berechtigt sind, darüber belehrt uns eine kritische Vergleichung H. S c h u b e r t s.†) Jene „rationelle Methode zur Prüfung der Wetterprognosen", deren sich die deutsche Seewarte bedient, ist von v a n B e b b e r bekanntgegeben worden††); dieselbe gestattet, frei von jeder Willkür den Zusammenhang des in der Prognose angekündigten Wetterstandes mit dem wirklich beobachteten in ganz unzweideutiger Weise festzulegen. Es darf nicht wunder nehmen,

*) v a n B e b b e r, 2. Band. S. 438 ff.

**) L. M e y e r, Die Bewölkung in Württemberg, mit Zugrundelegung der Beobachtungen von 1878—82 und mit besonderer Berücksichtigung meteorologischer Gebiete, Stuttgart 1884.

***) F. H o r n, Ein Beitrag zur Kenntnis der zeitlichen und räumlichen Verteilung der Niederschlagshäufigkeit in Bayern, München 1885.

†) Deutsche meteorologische Zeitschrift, 2. Jahrgang. S. 39 ff.

††) Ibid. 1. Jahrgang. S. 397 ff.

dass bei solch systematischer, das Hereinspielen aller persönlichen Velleitäten ausschliessenden Vergleichung der Prognosen mit den Thatsachen manche übertriebene Erwartungen enttäuscht, manche hochfliegende Gedanken auf ein bescheidenes Niveau zurückgeführt werden müssen*), wie es ja nur im Sinne wahrer Wissenschaftlichkeit zu wünschen ist. Auch noch nach einer anderen Seite hin verspricht das von Hamburg ausgegangene Verfahren der Meteorologie Vorteile zu bringen. „Die Zusammenstellung der Prognose und wirklichen Witterung gibt uns nämlich“, so äussert sich van Bebber, „einen klaren Überblick über die Aufeinanderfolge und den vorwaltenden Charakter der Witterungserscheinungen, und die Summierung der einzelnen Elemente stellt die Hauptfaktoren der Witterung in einer nicht uninteressanten und dem allgemeinem Verständnisse zugänglicheren Form, als die meteorologischen Mittelwerte sie bieten, dar, so dass bei der Prüfung der Prognosen nebenbei ein wertvolles Material für die Klimatologie, die Witterungsgeschichte und die Untersuchung der Erhaltungstendenz der Witterung zustande kommt.“

IV. Agrarmeteorologie.

Das, was die Agrarprognose mit der generellen Prognose gemein hat, bedarf kaum besonderer Hervorhebung; der Unterschied in ihrem beiderseitigen Wesen wurde oben bereits vorübergehend angedeutet. Es würde eine Darlegung der speziellen Anforderungen, welche der wissenschaftlich gebildete Landwirt an den Meteorologen stellt, uns von unseren eigentlichem Zwecke zu sehr ab- und zu tief in die Agronomie hineinführen, wir können also hier nur das wesentlichste berücksichtigen und müssen für weiteres auf einen Aufsatz van Bebbers**) und auf das von Reichswegen ausgearbeitete, leider aber noch lange nicht zur vollständigen Durchführung gelangte Programm***) der Land- und Forstwirtschafts-Meteorologie verweisen.

Die Luftdruckverteilung hat für den Agronomen nur ein sekundäres Interesse, nicht minder wird er im ganzen wenig davon berührt, wie sich das Wetter im ganzen innerhalb der nächsten 24 Stunden verhalten wird: er bekümmert sich nur um einzelne meteorologische Faktoren, allein deren Kenntnis wird ihm erst dann wertvoll, wenn er schon für einen längeren Zeitraum dieselben prognostiziert erhält. Dahin gehört der Witterungswechsel, einerlei, in welchem Sinne er sich vollzieht, dahin die Dauer der nassen und trockenen Perioden zur Zeit der Aussaat und

*) Dies bezieht sich u. a. auf die bekannten Overzierschen Gezeiten-Prognosen, welche v. Bezold im 73. Jahrgang der Zeitschrift des bayerischen landwirtschaftlichen Vereines unter das kritische Messer nahm. Für München erzielte danach Overzier in den Monaten Juni und Juli zwischen 30 und 40 Prozent Treffer, für Nürnberg 33 Prozent — gewiss nicht sehr viel, wenn man bedenkt, dass einfaches Raten eine Wahrscheinlichkeit $= \frac{1}{2} = 50\,\%$ ergibt.

**) van Bebber, Die Meteorologie im Dienste der Landwirtschaft, Deutsche Revue, 1877.

***) Die Organisation eines meteorologischen Dienstes im Interesse der Land- und Forstwirtschaft, Berlin 1879. Beteiligt waren an der Abgabe dieses viele treffliche Winke enthaltenden Gutachtens Thiel und Hausburg von der ökonomischen, W. Koeppen von der meteorologischen Seite.

Ernte. „Denn obgleich“ sagt van Bebber (a. a. O.), „in der Zwischenzeit das Gedeihen der Kulturpflanzen von der Witterung abhängt, so kann der Landmann doch sich zu dieser Zeit den Witterungserscheinungen gegenüber in den meisten Fällen nur passiv verhalten, es steht nicht in seiner Macht, dieselben zurückzuhalten oder sich vor denselben zu schützen, sondern er muss ihre Einwirkung über sein Eigentum ergehen lassen. Dagegen zur Zeit der Aussaat und der Fruchtreife kann er sich vor Schaden hüten, sobald er Kenntnis von der zu erwartenden Witterung besitzt. Hiernach unterscheiden sich die Bedürfnisse für den Seemann ganz wesentlich von denen des Landwirtes, und diese prinzipiellen Unterschiede müssen sich in der Organisation des Sturmwarnungssystemes und des Systemes von Wetterwarnungen für die Landwirtschaft notwendig äussern: die beiden Einrichtungen müssen, wie innig sie auch dem Wesen nach verwandt sind, in den Einzelnheiten der Organisation von einander verschieden sein.“ Dass die zweitgenannte Aufgabe die entschieden schwierigere ist und sein muss, erhellt aus dem Umstande, dass das Gesetz von Buys-Ballot, dessen Verständnis dem prognostischen Geschäfte zur festesten Stütze gereicht, diesmal zwar nicht etwa versagt, aber doch nur indirekt in betracht kommt.

Um die Agrarmeteorologie in Aufnahme zu bringen, empfiehlt sich die Begründung von Stationen erster, zweiter und dritter Klasse, wozu Lamont bereits in den vierziger Jahren aufgefordert hat. Diejenigen der ersten Kategorie sind vollständig ausgerüstet und vor allem auch mit Selbstregistratoren versehen; sie sind der Zentralstation unmittelbar untergeordnet und dienen auch als Sammelstellen für die Aufzeichnungen und Einsendungen der untergeordneten Stationen. Die zweite Klasse soll im Lande besonders zahlreich vertreten sein; die ihr angehörigen Beobachtungsstellen besitzen nur die gewöhnlichen Instrumente, die aber von bester Qualität und von der höchsten Instanz verglichen sein müssen; auch ist strenge darauf zu halten, dass die Ablesungen regelmässig an den vorgeschriebenen Terminen (s. o.) erfolgen. Für die dritte Klasse endlich kommen die Simultanbeobachtungen völlig in wegfall, die ihr angehörigen Beobachter, lauter Freiwillige der Wissenschaft, konzentrieren ihr Augenmerk auf die unperiodischen Phaenomene, als da sind der Niederschlag in seinen verschiedenen Erscheinungsformen, Bewölkung, Wolkenzug, Stürme, Gewitter und alle aus dem Bereiche des Alltäglichen heraustretenden Geschehnisse. Regenmesser sollten auch diesen Stationen nicht fehlen, denn gerade für die Hochwasserprognose wird es gewöhnlich an Material von den Stationen der beiden ersten Stationen fehlen, und man wird sich grossenteils auf die von den kleinen Orten einlaufenden Mitteilungen verlassen müssen.

Die Niederschlagsverhältnisse spielen in der landwirtschaftlichen Meteorologie natürlich die wichtigste Rolle. Mit einfachen ombrometrischen Messungen ist es nicht gethan, auch die Bestimmung der Regenwahrscheinlichkeit reicht, obwohl sie nicht versäumt werden darf, nicht hin, wohl aber ist es eine Hauptaufgabe, die lokalen Bedingungen der Regenbildung zu studieren und die Beziehungen der Regenhäufigkeit zum Bodenrelief der Provinz sowie zur abwechselnden Bedeckung mit Wald, Sumpf und Kulturland festzustellen. Anfang, Dauer und

Ende jedes Regengusses müssen, zugleich mit Angabe der herrschenden Windrichtung, angemerkt werden. Sehr wünschenswert wäre auch die Ausbildung der Gewitterprognose, für welche mit der Zeit die allgemeinen Sätze des zweiten Hauptstückes die nötige Grundlage bieten werden. Vielleicht kann sich auch eine Wahrnehmung von Prestel und Buys-Ballot nützlich erweisen: Wenn an einem Orte die Temperatur jeweilig über die mittlere hinausgeht, so ist ein Gewitter dann zu erwarten, wenn zugleich der Barometerstand bei seinem Übergange vom Maximum zum Minimum oder umgekehrt sich soweit verändert hat, dass er mit dem mittleren Barometerstande des Beobachtungsortes nahe übereinstimmt. Weitaus wichtiger als die Gewitterprognose ist aber noch die Nachtfrostprognose, und da man dieser letzteren in neuerer Zeit sehr ernstlich näher getreten ist, so erwächst für uns die Pflicht, die Massnahmen, welche in dieser Richtung von verschiedenen Fachmännern in Vorschlag gebracht worden sind, näher zu betrachten.

Es scheint, dass der Holländer Kammermann zuerst diese Frage, die allerdings schon in früherer Zeit aufgeworfen aber beim Mangel geeigneter Hilfsmittel wieder aus dem Auge verloren war, von neuem in Fluss brachte, indem er darauf hinwies, dass, wenn man den Stand eines Feuchtkugel-Thermometers zum nächtlichen Minimum untersucht, im Mittel die Differenz beider Angaben das ganze Jahr hindurch fast konstant bleibt.*) Für die Prognose reicht diese merkwürdige Entdeckung allerdings noch nicht aus, wohl aber steht sie in ursächlichem Zusammenhange mit jenem Verfahren, welches wir nunmehr auseinandersetzen wollen, und um dessen Vervollkommnung sich C. Lang**) sehr verdient gemacht hat. Der Begriff des Thaupunktes ist uns von früher her in Erinnerung. Dann ist auch die Prognose des Nachtfrostes theoretisch gegeben, denn es ist nur die folgende Alternative möglich: Nachtfrost tritt nicht ein, wenn der Thaupunkt der Luft über dem Gefrierpunkte liegt, Nachtfrost muss zwar nicht, kann aber sehr leicht eintreten, wenn der Thaupunkt unter 0° liegt. Mit Hilfe eines Kondensationshygrometers, welches ohneweiteres den Thaupunkt liefert, wäre das Kriterium, auf das es ankommt, leicht zu beschaffen, allein gerade bei jenen Bevölkerungsklassen, denen es um vorherige Kenntnis der Fröste zu thun ist, ist Besitz und Vertrautheit mit der Behandlungsweise eines solchen Instrumentes am wenigsten vorauszusetzen. Wohl aber kann der Gärtner und Weinbauer sich leicht auf das Manipulieren mit dem Psychrometer (s. o.) einüben. Besitzt er ein solches, so verhilft ihm eine einfache Zeichnung zur Ermittlung des gewünschten Kennzeichens. Man trägt auf einer (horizontalen) Abszissenachse die Temperaturen gleichabständig nach beliebigem Masstabe auf, errichtet in jedem einzelnen Teilpunkte auf der Achse eine Senkrechte und schneidet auf jeder derselben eine die entsprechende Psychrometerdifferenz — Unterschied zwischen den Angaben des trockenen und feuchten Thermometers —

*) Kammermann, Die Vorausbestimmung des nächtlichen Minimums, (Kleins) Wochenschr. f. Astron., Meteorol. u. Geogr., 1885. Nr. 45.

**) C. Lang, Die Vorausbestimmung des Nachtfrostes; Vortrag, gehalten im Gartenbauverein zu München, Braunschweig 1887.

markierende Strecke ab; durch die Endpunkte aller dieser (vertikalen) Strecken zieht sich eine Kurve hindurch, welche wir in Fig. 59 verzeichnet sehen. Dieses Schema kann man nun einfürallemal verwerten.

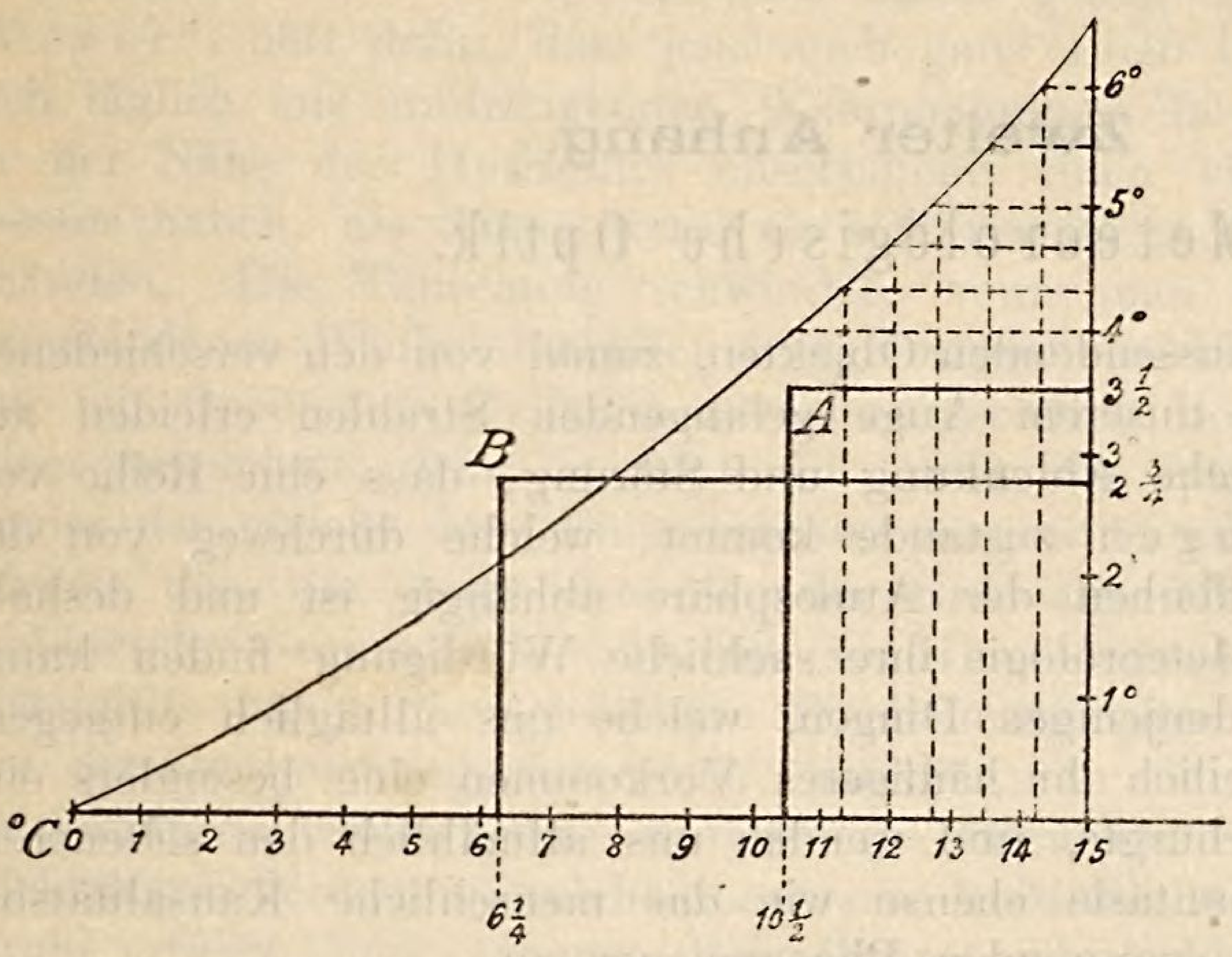


Fig. 59.

An jedem Abende eines Tages, dessen man nicht von vorn herein sich versichert halten darf, befragt man das Psychrometer und Thermometer, geht in der horizontalen Linie bis zu dem mit dem Stande des Wärmemessers korrespondierenden Punkte, errichtet daselbst eine Senkrechte und trägt auf dieser wiederum die den Stand des Feuchtigkeitsmessers zum Ausdruck bringende Strecke ab. Liegt dieser Endpunkt *unterhalb* der Kurve, so ist das Eintreten von Nachtfrost um so unwahrscheinlicher, ein je grösserer Zwischenraum das Ende der Senkrechten von der Kurve trennt; sobald der Endpunkt hingegen *auf* der Kurve oder *oberhalb* derselben erblickt wird, kann auf das Erscheinen des gefürchteten Pflanzenfeindes mit ziemlicher Sicherheit gerechnet werden, und es lohnt jedenfalls der Mühe, alle die schon früher geschilderten Vorsichtsmassregeln in Kraft treten zu lassen und durch Erzeugung von Rauch u. dgl. die schädliche Wirkung der Bodenausstrahlung zu paralysieren. Zwei Beispiele erläutern die obige Anweisung. Einmal entsprach der Angabe des trockenen Thermometers $10^1/_2{}^0$ eine Psychrometerdifferenz $3^1/_2{}^0$, dann liegt der Punkt A diesseits der krummen Linie, die Gefahr ist sehr gering; im zweiten Falle entsprach dem Thermometerstande $6^1/_4{}^0$ eine Psychrometerdifferenz $2^3/_4{}^0$, und man sieht, dass Punkt B sich jenseits der krummen Linie befindet und durch diese seine Lage einen Nachtfrost prognostiziert. *Lang* hat auch eine ähnliche Konstruktion für die Voraussetzung durchgeführt, dass dem Interessenten nicht ein Psychrometer, sondern lediglich ein (*Saussure*sches resp. *Koppe*sches) Haarhygrometer zugebote stände.

Die agronomische Meteorologie wünscht nicht nur derartige Augenblicksbestimmungen, sondern es kommt ihr auch darauf an, *die ungefähre Zeit des Eintretens der ersten Fröste im Spätjahre* für eine bestimmte Gegend einfürallemal zu kennen, und dass die Klimatologie für ihre eigenen Zwecke ganz denselben Wunsch hegen muss, ward früher schon, nach *Hann*, betont. Es ist dies natürlich eine zunächst ins Gebiet der statistischen Meteorologie fallende Aufgabe;

für das weite Gebiet des russischen Reiches hat L e y s t*) diese Termine zu bestimmen unternommen, und seine Arbeit kann anderen, nur auf ein kleineres Gebiet sich ausdehnenden Arbeiten dieser Art zum Vorbilde dienen.

Zweiter Anhang.

Meteorologische Optik.

Die von lichtaussendenden Objekten, zumal von den verschiedenen Himmelskörpern zu unserem Auge gelangenden Strahlen erleiden auf ihrem Wege so manche Ablenkung und Störung, dass eine Reihe von L u f t e r s c h e i n u n g e n zustande kommt, welche durchweg von der momentanen Beschaffenheit der Atmosphäre abhängig ist und deshalb nur innerhalb der Meteorologie ihre sachliche Würdigung finden kann. Wir beginnen mit denjenigen Dingen, welche uns alltäglich entgegentreten, ohne dass freilich ihr häufigeres Vorkommen eine besonders einfache Erklärung verbürgte, und wenden uns allmählich den selteneren, die menschliche Phantasie ebenso wie das menschliche Kausalitätsbedürfnis aufs höchste spannenden Phaenomenen zu.

Wenn wir, vollständig freien Horizont vorausgesetzt, unseren Blick in der Runde schweifen lassen, so bekommen wir den Eindruck, als befänden wir uns im Zentrum einer grossen Kreisfläche, längs deren Peripherie, dem H o r i z o n t e, das Himmelsgewölbe mit dem Erdboden zusammenhinge. Da nach keiner Richtung hin die Sehstrahlen bevorzugt oder benachteiligt sind, so müsste man eigentlich erwarten, dass uns das F i r m a m e n t als eine vollkommene Halbkugel erschiene, allein hiemit steht der Augenschein nicht im Einklange. Dasselbe stellt sich uns vielmehr als ein g e d r ü c k t e s G e w ö l b e dar; die Form desselben ist wohl eine sphärische, aber wenn wir, wie in Fig. 60, einen Vertikaldurchschnitt uns durch dasselbe gelegt denken, so scheint der Mittelpunkt des entstehenden Hauptkreises C_1 nicht mit dem Standpunkte C des Beobachters zusammenzufallen, sondern unterhalb desselben zu liegen. Messungen, welche der berühmte optische Schriftsteller R o b e r t S m i t h anstellte, ergeben, dass der Winkel DCA, welchen eine von C nach der Mitte D des Vertikalbogens AZ — unter A einen Punkt des Horizontalkreises, unter Z das Zenit verstanden — gezogene grade Linie mit CA einschliesst, blos 23^0 und nicht 45^0 beträgt, somit fast nur halb so gross ist, als er es wäre, wenn das Firmament als wirkliche Halbkugel erschiene.

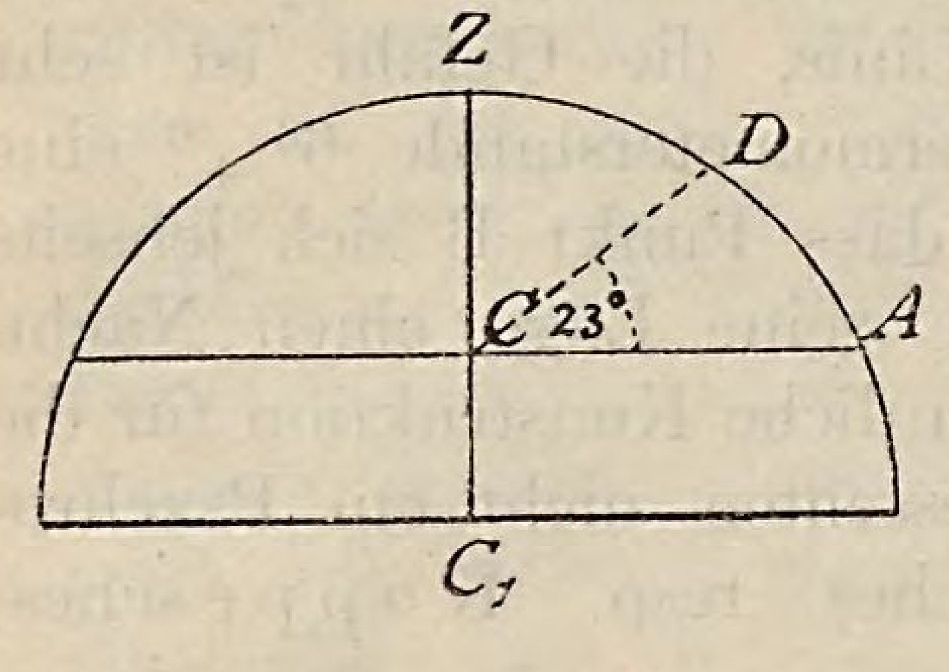


Fig. 60.

*) L e y s t, Der erste Herbstfrost und der erste Schnee, Beilage zum meteorolog. Bulletin des physik. Zentralobservatoriums zu Pawlowsk vom 2. 14. Oktober 1881.

Man hat es hier mit einer Wirkung der sogenannten Luftperspektive zu thun, welche es auch bewirkt, dass das Aussehen entfernter Gegenstände ein sehr verschiedenes wird, je nachdem die zwischen ihnen und unserem Sehorgane befindliche Luftschicht eine verschiedene Zusammensetzung besitzt. Der Landschafts- und Architekturmaler kann dem Einflusse der Luftperspektive kaum genug Beachtung schenken. Weyer*) hält dafür, dass jene auch ganz allein im Spiele sei bei der sich täglich uns aufdrängenden Wahrnehmung, dass Sonne und Mond in der Nähe des Horizontes anscheinend einen viel grösseren Durchmesser haben, als dann, wenn sie sich bereits in einer gewissen Höhe befinden. Die Täuschung schwindet, wenn man die Durchmesser in verschiedenen Winkelabständen vom Horizonte wirklich misst oder selbst nur mit einem zum Zylinder zusammengerollten Bogen Papier die Gestirne betrachtet, denn da zeigt sich, dass der sphärische Durchmesser immer der gleiche ist. Einigermassen mag wohl auch der Umstand mitwirken, dass das Auge unten an der Erde eine Menge zum Vergleiche einladender Gegenstände vorfindet, am Himmelsgewölbe selbst aber nicht. Jedenfalls hängt die sonderbare Erscheinung ganz und gar nicht mit der Strahlenbrechung zusammen, auf die man sie wohl irrtümlich hat zurückführen wollen; dies wird sofort einleuchten, wenn wir jetzt die Richtungsänderungen, welche der unsere Lufthülle durchdringende Lichtstrahl erfährt, einer genauen Betrachtung unterziehen. —

Die Existenz der Refraktion oder atmosphaerischen Strahlenbrechung war den Griechen nicht entgangen; Kleomedes erwähnt ihrer zuerst in seinem astronomischen Lehrbuche, und Ptolemaeus stellte sinnreiche Versuche darüber an. Auch während des Mittelalters ging diese Kenntnis nicht, wie so manche andere, spurlos verloren, so erwähnt der Refraktion u. a. der deutsche Optiker Witelo (Vitellion), allein der Anlass, deren Wesen zu ergründen, ward erst gegeben durch die Entdeckung Bernhard Walthers (um 1480), dass durch die Ablenkung der Lichtstrahlen jeder Stern an einem anderen Orte zu stehen scheine, als an dem er sich thatsächlich befindet, dass somit einer astronomischen Ortsbestimmung erst dann wirklicher Wert zukomme, wenn der aus der Refraktion sich ergebende Fehler vollständig ausgemerzt sei. Der Vater der neueren Beobachtungskunst, Tycho Brahe, nahm Walthers Anregung zum Ausgangspunkte eigener, mühsamer Thätigkeit, als deren Ergebnis die erste Refraktionstafel, d. h. eine Zusammensetzung der Winkelbeträge anzusehen ist, um welche, je nachdem der im Inneren der Atmosphäre zurückzulegende Weg ein längerer oder kürzerer ist, die Sternörter transloziert erscheinen. Allerdings reichte Tychos Tabelle nur bis zu einer Höhe von 45^0, darüber hinaus glaubte man den Einfluss der Refraktion so lange vernachlässigen zu dürfen, bis Kepler auftrat und zeigte, dass allerdings die Ortsveränderungen der Sterne, soweit sie durch die Strahlenbrechung bedingt sind, mit der Annäherung an den Scheitelpunkt kleiner und kleiner werden, dass aber nur der eigentliche Zenitalstrahl ganz und gar keine Verbiegung erleidet. Picard ging einen bedeutenden Schritt

*) Allgemeine Enzyklopädie der Physik, 1. Band, Leipzig 1869. S. 685 ff.

weiter, indem er bewies, dass ohne Berücksichtigung des augenblicklichen Barometer- und Thermometerstandes an eine genaue Bestimmung der Grösse der Refraktion gar nicht zu denken sei, und von nun an bemühten sich Gelehrte ersten Ranges, unter denen wir nur Bradley, Thomas Simpson, Lalande, Hennert und Kramp nennen wollen, um die Feststellung von astronomisch brauchbaren Refraktionsformeln. Wir gehen auf diese zunächst für die Sternkunde bedeutsamen Arbeiten nicht näher ein, sondern verweisen den sich dafür Interessierenden auf die alles merkwürdige registrierende Schrift von Bruhns.*) In neuester Zeit ist die Lehre von der Refraktion sowohl der Theorie nach als auch durch systematische Beobachtung besonders durch v. Bauernfeind gefördert worden.

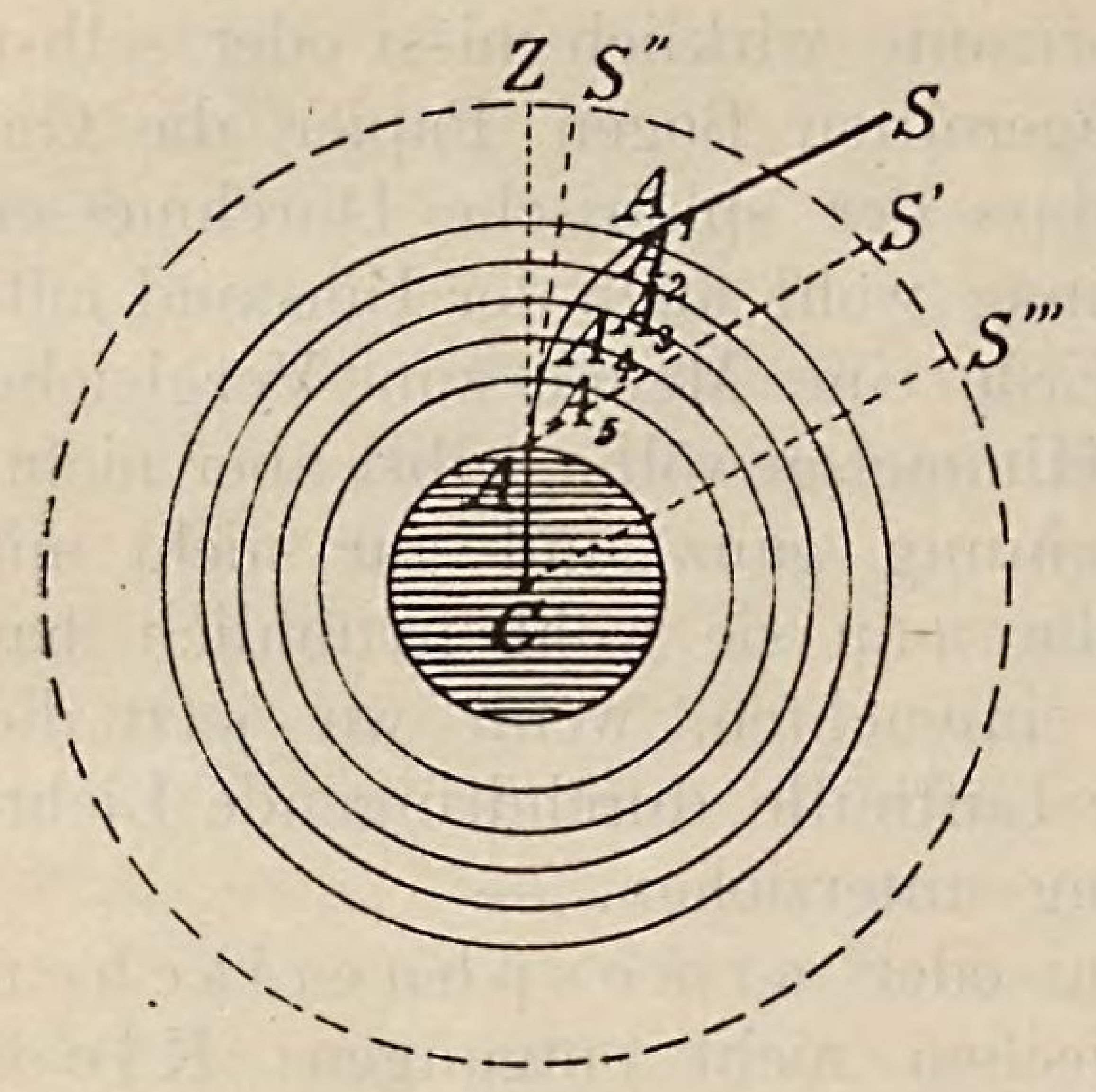


Fig. 61.

In Fig. 61 bedeutet C den Mittelpunkt der Erde, A einen Punkt auf ihrer Oberfläche; der Einfachheit halber setzen wir die Erde wie auch die Aussenfläche der Atmosphaere als sphaerisch gekrümmt voraus und nehmen zudem an, die Lufthülle sei aus einer Anzahl konzentrischer Kugelringe zusammengesetzt, und in jedem einzelnen dieser Ringe sei die Dichte und Luftzusammensetzung durchaus die gleiche. Der Stern S befinde sich weit genug entfernt, dass sämtliche von ihm ausgesendete Strahlen als parallel betrachtet werden dürfen. Der Strahl SA_1 ist es, welcher in A das Auge des Beobachters trifft; dies geschieht dadurch, dass, dem Refraktionsgesetze**) entsprechend, der Strahl die zweite Grenzschicht im A_2, die dritte in A_3 u. s. w. trifft, d. h. auf dem gradlinig-gebrochenen Wege $SA_1A_2A_3A_4A_5A$ in A eintrifft. Um die Ortsveränderung kennen zu lernen, ziehe man durch A eine Parallele AS' zu A_1S und verlängere den Halbmesser CA bis zum Durchschnitte mit der scheinbaren Himmelskugel in Z. Der Strahl AA_5 ist der Augenstrahl, in welchem S vom Beobachter gesehen wird; trifft er die Himmelskugel in S'', so ist ∢ S''AZ die scheinbare, ∢ S'AZ die wirkliche Zenit-

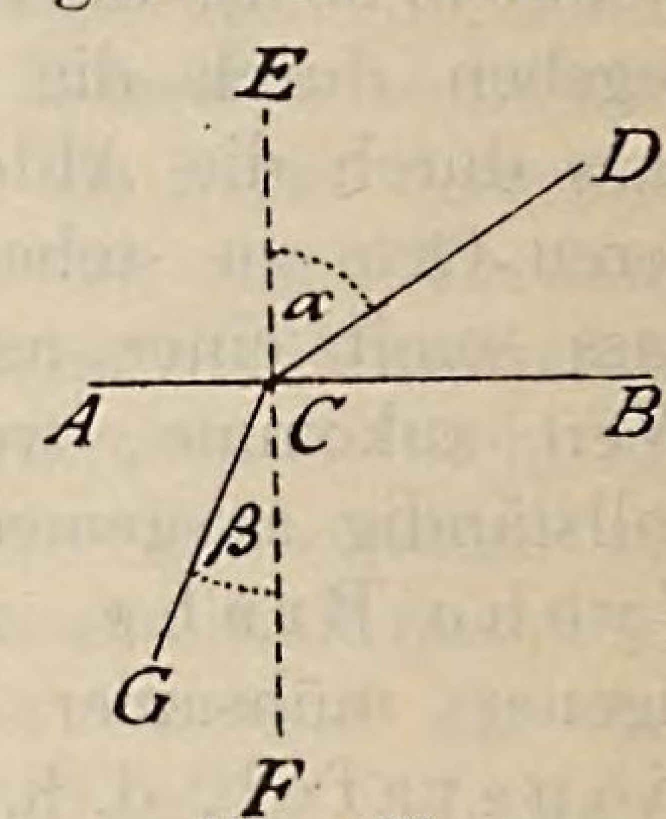


Fig. 62.

*) Bruhns, Die astronomische Strahlenbrechung in ihrer historischen Entwicklung, Leipzig 1861.

**) Dieses Gesetz ward zu Beginn des XVII. Jahrhunderts nahezu gleichzeitig und in vollster gegenseitiger Unabhängigkeit durch Cartesius und Snellius aufgefunden, nachdem die Mühe früherer Geschlechter, es zu erkennen, trotz mancher auffälliger Annäherung an die Wahrheit, unbelohnt geblieben war. AB (Fig. 62) sei die ebene Trennungsfläche eines minder dichten Mittels M und eines dichteren Mittels M'. Der durch das erstere unangefochten hindurchgehende Lichtstrahl DC trifft die Grenzfläche unter dem Winkel gegen Lot EF DCE $= \alpha$; er wird abgelenkt, und seine neue Richtung CG, welche

distanz,*) und man erkennt die Wahrheit des Satzes: Die Zenitdistanzen werden durch die Refraktion verkleinert, die Höhen werden von ihr vergrössert. In Wirklichkeit nun ist die Anzahl der Trennungssphaeren in der Atmosphäre keine diskrete, vielmehr vollziehen sich die Übergänge von Schichten geringerer zu solchen grösserer Dichte (von aussen her) ganz unmerklich, und es gibt also in Wirklichkeit keine gebrochene, sondern eine stetig gekrümmte Refraktionslinie, die sogenannte Refraktionskurve, deren Eigenschaften zuerst Bouguer zu erforschen trachtete, deren Differentialgleichung aber schon Laplace „in einer für alle Zeiten feststehenden Form" entwickelte. Die beste angenäherte Integration dieser Gleichung vollzog v. Bauernfeind, dessen Schlussformeln sehr genaue, mit den auf mehr empirischem Wege gewonnenen Refraktionstafeln von Bradley nahe übereinstimmende Werte liefern.

Oben ist angenommen, der Lichtstrahl komme von einem jenseits der Grenzfläche unserer Atmosphaere gelegenen Punkte her; die alsdann sich ergebende, vorstehend geschilderte Strahlenbrechung nennt man die astronomische Refraktion. Natürlich aber muss sich eine analoge, nur minder starke Krümmung auch ein Strahl gefallen lassen, der von einem im Luftkreise selbst befindlichen Punkte ausgeht. Dann liegt die sogenannte terrestrische Refraktion vor, welche sich also von der vorhin erwähnten nur insoweit unterscheidet, als die Dicke der zu durchmessenden Luftschicht eine geringere ist.

Schliesslich ist noch auf eine beschränkende Voraussetzung aufmerksam zu machen, welche wir sowohl der Einfachheit halber als auch aus dem Grunde gemacht haben, weil nur in Ausnahmefällen die Verhältnisse anders gelagert sind. Wir dachten uns nämlich, die Refraktionskurve sei eine ebene Kurve, sie trete aus einer durch das Lichtobjekt, das aufnehmende Auge und den Erdmittelpunkt hindurch gelegten (Vertikal)-Ebene nirgendwo heraus. Dies ist jedoch nicht eben naturnotwendig, die Änderung der Dichte braucht nicht gerade blos mit der Entfernung vom Erdzentrum zu variieren, obwohl es glücklicherweise gewöhnlich so ist, sondern es können auch zwei gleichabständige, atmosphärische Punkte eine ungleiche Dichtigkeit aufweisen. Alsdann erleidet das Lichtobjekt nicht blos eine vertikale, sondern auch eine zu dieser senkrechte, seitliche Verschiebung; die Lateralrefraktion, deren Vorhandensein bereits bei Kepler angedeutet ist, hat zur Folge, dass die ebene Refraktionskurve sich in eine Linie doppelter Krümmung verwandelt.**) Bei den feinen geodätischen Messungen,

er, solange er im Medium M' verbleibt, unverändert beibehält, bildet mit dem Lote EF einen Winkel GCF = β, kleiner als DCE. Für konstantes M und M' hat das Verhältnis des Sinus von α zum Sinus von β stets einen gleichbleibenden Wert, wie auch der Einfallswinkel α selbst sich ändern möge.

*) Strenge genommen müsste der durch den Mittelpunkt C gehende Paralellstrahl CS''' die Zenitdistanz bestimmen.

**) Wie die Refraktion überhaupt ist auch speziell die laterale, wenn vorhanden, sehr stark von dem Erwärmungszustande der Luft abhängig. Nach Sablers grundlegenden Untersuchungen darf man sich überzeugt halten, dass etwa um die zehnte Vormittags- und um die vierte Nachmittagsstunde ein relatives Maximum von Ruhe in der Atmosphäre eintritt; wer also um diese

welche in den letzten Jahrzehnten zur genaueren Bestimmung der Erdgestalt gemacht werden mussten, hat man nicht umhin gekonnt, auch der Lateralrefraktion Beachtung zu teil werden zu lassen, indessen haben uns v. Bauernfeinds Beobachtungen auf dem Döbra-Berge im Frankenwalde die beruhigende Gewissheit verschafft, dass der Einfluss dieser Anomalie auf Höhenwinkel für gewöhnlich ein verschwindender ist. Gleichwohl wird man die Untersuchungen darüber schon aus dem Grunde fortsetzen, weil uns dieselben bei der Betrachtung manch allgemeiner, die Physik der Atmosphäre betreffender Fragen eine Unterstützung zu gewähren versprechen.*) —

Der Durchweg der Strahlen durch die Lufthülle der Erde bewirkt neben der nach Ort und Zeit berechenbaren Ortsveränderung des Licht aussendenden Punktes auch noch eine auffallende Unruhe dieses Punktes, sobald derselbe nur entweder klein genug oder andererseits weit genug entfernt ist. Wir meinen die Szintillation, das Funkeln oder Glitzern der Sterne.**) Dass diese Erscheinung direkt mit der Refraktion zusammenhänge, ward in früherer Zeit von Hooke und Newton bestimmt ausgesprochen, allein ihre Ansicht drang nicht durch und geriet in gänzliche Vergessenheit, welcher sie erst ganz neuerlich von Exner entrissen wurde. Dafür traten die von Arago und von Montigny aufgestellten Theorien mehr in den Vordergrund. Ersterer erklärte das Funkeln der Fixsterne — bei den als Scheiben erkennbaren Planeten tritt die Szintillation ganz unverhältnismässig zurück — für eine Interferenzerscheinung. Die Fixsterne sind so weit von der Erde entfernt, dass sie, auch bei Anwendung von

Zeit einen entfernten Gegenstand mit einem scharfen Fernrohre anvisiert, kann denselben leicht im Mittelpunkte seines Fadenkreuzes festhalten, während er im übrigen jenen sowohl in vertikaler als auch teilweise in horizontaler Richtung sich stetig durch das Gesichtsfeld hindurch bewegen sieht. Diese Horizontalbewegung zuerst im einzelnen verfolgt zu haben, ist das Verdienst F. Pfaffs (Sitzungsber. d. k. bayr. Ak. d. Wissensch., Math.-phys. Kl., 1872. S. 147 ff.).

*) Hartl hat festgestellt, dass die Temperaturabnahme mit der Höhe „der wesentlichste Faktor in der täglichen und jährlichen Periode der terrestrischen Refraktion“ ist, wogegen die Einwirkung aller übriger meteorologischer Elemente nur ganz sekundär in betracht kommt. Wenn sich dies aber so verhält, so ist auch die Möglichkeit gegeben, durch gleichzeitige Messung von Zenitdistanzen, verbunden mit meteorologischen Beobachtungen an verschiedenen Punkten, deren Höhenlage dem Terrain angepasst ist, das Gesetz, nach welchem die Temperatur mit wachsender Höhe abnimmt — ein, wie wir oben sahen, manchen Abänderungen unterliegendes Gesetz — genauer zu bestimmen. Des ferneren leitete Th. v. Oppolzer eine Formel her, welche zwischen der Refraktionskonstante, der Luftdichte, der momentanen und der jährlichen mittleren Temperatur den mathematischen Zusammenhang vermittelt.

**) Mit dem Funkeln der Sterne darf nicht verwechselt werden deren scheinbares Strahlenschiessen, welches immerhin so augenfällig ist, dass wir seinetwegen die Himmelskörper bildlich in der bekannten „Sternform“ (als kleine Kreise mit angesetzten Strahlen) darstellen, wie dies auch schon die alten Aegypter gethan haben. Hassenfratz erklärt diese Fortsätze als Brennlinien auf der Krystallinse unseres Auges; dieselbe vereinigt, wie überhaupt gekrümmte Flächen mit Ausnahme des Paraboloides, die anlangenden Strahlen nicht in einunddemselben Punkte (Fokus), sondern je zwei benachbarte Strahlen schneiden sich für sich, und die Gesamtheit aller dieser Punkte ergibt eine hellglänzende Kurve, die „Diakaustik“ oder „Katakaustik“, je nachdem die Strahlen gebrochen oder gespiegelt sind.

Teleskopen mit starker Raumdurchdringung, als unteilbare leuchtende Pünktchen erscheinen. Von den aus einem solchen Punkte hervorgehenden Strahlen erreichen mehrere unser Auge, nicht aber alle auf Wegen gleicher Länge und gleicher Zeitdauer, da auch ein sonst fast unmerklicher Unterschied in der Dichte eine merkbare Verzögerung bewirken kann. Die Wirkung zweier Strahlen wird sich nun, den bekannten Grundsätzen der Vibrationstheorie gemäss, verstärken oder abschwächen, je nachdem verschiedene oder gleiche Phasen der Wellen zusammentreffen. Aber nicht nur Helligkeit und Dunkel werden sich in raschem Wechsel folgen, sondern es kann auch, obwohl der betreffende Stern weisses*) Licht ausströmt, geschehen, dass verschiedene Farben nach einander in die Erscheinung treten, wenn einmal die roten Strahlen in dem Augenblicke sich vernichten, in welchem die grünen ihre Wirkungen summieren, u. s. f. Montigny, dessen Hilfsmittel zum Studium der Szintillation übrigens auch ohne Rücksicht auf die Erklärungsweise ihren Wert beibehalten,**) sieht die totale Reflexion***) der Strahlen als die eigentliche Ursache des Funkelns an. Endlich griff, wie gemeldet, Exner†) neuerdings auf die Theorie der älteren englischen Optiker zurück, modifizierte dieselbe aber in einer der modernen Lehre vom Lichte angepassten Weise. Indem die Lichtstrahlen durch die Atmosphaere fortschreiten, werden sie unregelmässig gebrochen, und durch diese Brechung werden die Wellenflächen ††) nicht unerheblich deformiert. Diese anormalen Krümmungen hat man bisher entschieden unterschätzt, sie können nach Exners Rechnungen zu einer ganz beträchtlichen Grösse ansteigen, und dann allerdings ist die Unruhe der Sterne etwas selbstverständliches. Ob von der Verzerrung der Wellenflächen auch das sogenannte Schwanken der Sterne abhängt, von welchem

*) Die Mehrzahl der Fixsterne ist weiss, doch gibt es auch farbige Sterne, deren Spektren meist ebenfalls ihre Besonderheiten haben.

**) Es gilt dies zumal vom Szintillometer, einem Apparate, durch welchen das im Brennpunkte des Fernrohrs erzeugte Bild des Sternes in sehr schnelle Umdrehung versetzt wird, so dass es den Eindruck eines Lichtringes hervorruft. Man zählt die Farbenwechsel, welche in diesem Ringe innerhalb einer gegebenen Zeit sich bemerklich machen, und diese Wechsel sollen ein Mass für die Energie der Szintillation liefern.

***) Aus dem mathematischen Ausdrucke für das Brechungsgesetz (s. o.) erhellt, dass ein aus dichterem in dünneres Mittel übergehender Strahl die Trennungsfläche unter einem Winkel treffen muss, der nicht unter eine gewisse Grösse (Grenzwinkel) herabsinken darf. Ist dies dennoch der Fall, so findet überhaupt keine Brechung, sondern blos eine vollständige Zurückwerfung des herankommenden Strahles statt.

†) Exner, Über das Funkeln der Sterne und die Szintillation überhaupt, Sitzungsber. d. k. k. österr. Akad. d. Wissensch., Math.-phys. Kl. 1881.

††) Im Inneren eines homogenen Stoffes, welcher den Charakter der Isotropie hat, d. h. einer ihn durchdringenden Wellenbewegung auf jeder beliebigen Linie mit derselben Geschwindigkeit fortzuschreiten gestattet, werde ein Lichtimpuls gegeben; dann werden alle um den Punkt des Impulses mit willkürlichem Radius beschriebenen Kugelflächen zugleich Wellenflächen sein, d. h. jeder einem solchen Flächen-Individuum angehörige Punkt empfängt die Lichtwelle im nämlichen Zeitpunkte. Anders in solchen Mitteln, welche, wie viele Krystalle, in einer gewissen Richtung den Vibrationen einen mehr ungehinderten Durchgang gewähren, als z. B. in einer darauf senkrechten. Die Wellenfläche wird dann ein ziemlich kompliziertes geometrisches Gebilde.

mehrere Beobachter berichten, keiner aber Dimensionen wie die von A. v. Humboldt (1799) am Abhange des Pik von Teneriffe beobachteten wahrnahm, müssen wir hier unentschieden lassen, doch können wir die Wahrscheinlichkeit nicht bestreiten, dass es sich so verhalte. —

Damit wir die bisher erörterten Erscheinungen kennen lernen, überhaupt auf grössere Entfernungen hin noch Gegenstände deutlich sehen können, muss unsere Atmosphäre die Eigenschaft der Durchsichtigkeit oder Diaphanität besitzen. Wäre dieselbe eine absolute, so könnte auch von der uns bereits bekannten Luftperspektive keine Rede sein, thatsächlich aber ist die Atmosphäre nur beschränkt durchsichtig, und zwar variiert der Durchsichtigkeitsgrad sowohl für verschiedene Teile der Erde als auch für den nämlichen Ort ziemlich beträchtlich. Fremdkörper, welche der Luft beigemengt sind, setzen diesen Grad im allgemeinen natürlich herab, der Wasserdampf aber darf diesen fremdartigen Beimengungen nicht beigezählt werden, da er die Durchsichtigkeit aufs entschiedenste hebt. Jedermann weiss, dass es kein sehr günstiges Wetterzeichen ist, wenn Berge, Wälder, Gebäude, die sich am Horizonte befinden, besonders nahe zu sein scheinen; es ist eben dann in der Atmosphäre viel Wasser enthalten und die Möglichkeit eines Niederschlages näher gerückt. Das erste Diaphanometer gab der berühmte Alpenforscher Saussure an; der Grundgedanke desselben wurde von den Gebrüdern v. Schlagintweit wieder aufgenommen, und mit Erfolg realisiert.*) Als Durchsichtigkeitskoeffizient gilt das Verhältnis der Lichtintensität, welche nach dem Durchgange des Lichtes durch eine Luftschicht von der Mächtigkeit 1 noch vorhanden ist, zu derjenigen Intensität, welche ursprünglich vorhanden gewesen war. Natürlich ist unter sonst gleichen Umständen dieser Bruch verschieden gross für weisses und verschiedenfarbiges Licht, und zwar scheint die Durchsichtigkeit für geringer brechbare Strahlen eine grössere zu sein, als für stärker brechbare. Man denke sich einen weissen Kreis mit einer konzentrischen schwarzen Scheibe, deren Durchmesser kleiner als der der weissen ist, zu diesem aber ein bestimmtes Grössenverhältnis hat. Der Beobachter entfernt sich auf einer zur Ebene der beiden Kreise senkrechten Linie und markiert auf dieser die Punkte, bei deren Erreichung zuerst der schwarze und nachher der weisse Kreis seinem Auge völlig entschwunden sind. Wäre der Durchsichtigkeitskoeffizient der Einheit gleich, so müssten sich jene beiden Distanzen genau so zu einander verhalten, wie der Diameter der kleinen zu demjenigen der grossen Scheibe; thatsächlich ist das erstere Verhältnis aber etwas grösser, und damit ist auch das Mass für den Koeffizienten gegeben. Eine andere, die polaristrobometrische Methode ist späterhin von Wild in Vorschlag gebracht worden, und als erstes Ergebnis ihrer Anwendung ist das zu betrachten, dass, wie ja nicht verwunderlich, die dem Erdboden näheren Luftschichten am meisten Licht absorbieren, während die Durchsichtigkeit der Atmosphaere mit der Höhe zunimmt. —

*) In ganz ähnlicher Weise, durch Hinunterlassung sogenannter Versenkungsscheiben in das Wasser, bestimmt man auch die — ziemlich stark, besonders mit dem Salzgehalte — wechselnden Durchsichtigkeitsgrade des Meerwassers.

Wie gross die Menge des absorbierten Lichtes ist, zeigt uns der Durchsichtigkeitskoeffizient, und wir bemerken, dass die Absorption nicht eben eine sehr energische ist. Wenn trotzdem nur ein verhältnismässig kleiner Teil des von den leuchtenden Objekten, in erster Linie von der Sonne ausgestrahlten Lichtes wirklich unser Auge erreicht, so müssen wir fragen: Welche Ursache ist, von der Lichtverschluckung*) abgesehen, an diesem Verluste schuld? Die Antwort lautet dahin, dass diese Ursache in der Lichtreflexion innerhalb der Atmosphaere gesucht werden muss. Ohne solche Reflexion würde uns die Sonne in grellem Glanze auf absolut dunklem Hintergrunde erscheinen, und die Kontrastwirkung würde für unser Auge höchst empfindlich sein; das diffus zurückgestrahlte atmosphaerische Licht bedingt dagegen die Tageshelle.**) Die Messungen von Clausius***) gestatten uns den Einfluss dieser Zurückwerfung abzuschätzen; vgl. die folgende Tabelle:

Zenitdistanz der Sonne	Intensität des direkten Sonnenlichtes ohne atmosph. Schwächung.	Intensität des direkten Sonnenlichtes mit atmosph. Schwächung.	Intensität des gesamten Himmelslichtes.
0^0	1,000	0,750	0,186
30	0,866	0,621	0,177
60	0,500	0,281	0,138
80	0,174	0,033	0,067

Später hat L. Weber die Intensitätsmessung des diffusen Tageslichtes in der Weise vorgenommen,†) dass er als Vergleichs-Licht das transparente Licht einer matt geschliffenen Michglastafel wählte. Direkt gemessen wurde die Helligkeit durch die „Meternormalkerze“, d. h. durch

*) Nach der Ansicht mancher Astronomen, unter welchen insbesondere Olbers zu nennen ist, wirkt nicht lediglich unsere Lufthülle, sondern sogar jener unermesslich feine Aether, durch welchen man sich die intrastellaren Räume erfüllt denkt, Licht-absorbierend. Da nämlich die Anzahl der Fixsterne höchstwahrscheinlich grösser als die ist, welche wir, auch mit bewaffnetem Auge, wahrzunehmen imstande sind, so liegt die Vermutung gewiss nicht ferne, dass das Licht der weiter entfernten Himmelskörper beim Durchgang durch den Weltraum eine zu grosse Schwächung erfahre, um noch auf die Netzhaut des Menschen-Auges einen Eindruck machen zu können. In ganz anderer Ideenverbindung hatten wir die Frage nach der Existenz eines solchen Mediums schon oben, beim Beginne des ersten Hauptstückes, zu berühren.

**) Für den Fall, dass eine gänzliche Beseitigung des diffusen Lichtes möglich wäre, würden wir die Sterne am Himmel ohne Fernrohr am Tage erblicken. Man wähnte ehedem, dass für einen durch einen Schornstein oder aus einem tiefen Brunnenschachte das Firmament betrachtenden Beschauer die Absperrung jenes Lichtes vollkommen genug wäre, um den gedachten Zweck zu erreichen, doch hat sich dieser Glaube vor Humboldts eifrigen Nachforschungen als irrig erwiesen.

***) Unser Zitat stammt aus der nach jeder Hinsicht für unsere Disziplin grundlegend gewesenen Abhandlung von Clausius „Die Lichterscheinungen der Atmosphäre dargestellt und erläutert“ in Grunerts Zeitschrift „Beiträge zur meteorologischen Optik“ (1. Teil. S. 375 ff.).

†) Deutsche meteorologische Zeitschrift, 2. Jahrgang. S. 163 ff. S. 219 ff. S. 451 ff.

jene Helligkeit, welche von der Einheitskerze in 1 m Entfernung bei normalem Auffallen des Strahlenbündels für eine senkrechte Fläche „indiziert“ wird. Um die Einflüsse der Vielfarbigkeit hintanzuhalten, sah der Experimentator stets durch ein rotes oder grünes Glas. Die auf solche Art für die Helligkeit des diffusen Tageslichtes erhaltenen Resultate hat Weber gleichfalls in einer Tafel vereinigt. Einen einfachen Selbstregistrator zur Messung der Stärke des zerstreuten Himmelslichtes gab Maggelsen an; ein mit Jodsilber-Albumin praeparierter Papierstreifen rollt, von einer Rollenverbindung dirigiert, mit gleichförmiger Geschwindigkeit ab, durch einen Spalt in dem Deckel des den Apparat in sich schliessenden Kastens fällt das Licht ein, und es entsteht ein Photogramm, das in mehr und minder dunkle Parallelstreifen zerfällt. Je dunkler ein Streifen, um so energischer war in dem — zeitlich leicht festzustellenden — Augenblicke, da sich jener Streifen gerade unterhalb der Einlassöffnung befand, die chemische Wirkung des diffusen Lichtes. —

Das Firmament erscheint unserem Auge nicht blos hell, sondern auch in verschiedener Färbung, allein die optischen Gründe für das Auftreten der verschiedenen Himmelsfarben sind noch nicht so vollständig aufgeklärt, wie es zu wünschen wäre, obwohl mit dem Studium dieser Gründe schon vor geraumer Zeit durch Funck*) ein recht ernstlicher Anfang gemacht worden ist. Wir sprechen zunächst blos von der blauen Farbe in ihren einzelnen Schattierungen, uns vorbehaltend, die dem Morgen- und Abendhimmel eigenen Farbentöne nachher einer eigenen Betrachtung zu unterziehen. Zunächst bedarf es natürlich eines Mittels, um die einzelnen Abstufungen im Himmelsblau unter einander vergleichen zu können, und dieses Mittel ist geboten im Kyanometer. Saussure stellte auf einer Kreisscheibe eine Anzahl von gleichgrossen Sektoren so auf, dass sie sämtlich im Mittelpunkte jener zusammenliefen, versah diese Sektoren mit Pigmenten, die mit dem tiefsten Schwarz begannen und bis zum reinsten Weiss sich erstreckten; beim Gebrauche stellte er durch Schätzung die Nummer fest, deren Pigment ihm am meisten mit der Nuance des ins Auge gefassten Teiles des Himmelsgewölbes sich zu decken schien. Eine kaum als Verbesserung zu bezeichnende Abänderung dieser Vorrichtung war Parrots Rotationskyanometer; auf eine weisse Platte wurden ähnlich, wie bei Saussure, blaue Sektoren aufgesetzt, das ganze wurde auf der Zentrifugalmaschine in rasche Umdrehung versetzt, und die Anzahl der aufgelegten Sektoren sollte, wenn die beim Umdrehen sich ergebende Mischfarbe mit der Himmelsfärbung übereinstimmte, als Mass für den Grad der Himmelsbläue dienen. Zweifellos zuverlässiger ist das Polarisationskyanometer von Arago, welches die Thatsache verwertet, dass ein Kalkspatblättchen bei bestimmter Dicke im polarisierten Lichte blau erscheint. Pickering will als Vergleichsobjekt nichts weiter als ein beleuchtetes Papierblatt verwendet wissen, welches aus einer Reihe verschieden blau gefärbter Stücke herausgesucht ist; er greift also auf die ursprüngliche Idee Saussures zurück.

*) Funck, Liber de coloribus coeli, Ulm 1716.

Man glaubte ehedem — schon Lionardo da Vinci hatte sich in diesem Sinne ausgesprochen — die Himmelsbläue als eine rein subjektive Erscheinung betrachten zu sollen. Nunmehr aber erkennt man in dieser blauen Farbe etwas objektives, thatsächlich vorhandenes; insbesondere spricht für diese Auffassung Pickerings nachdrücklicher Hinweis auf den Umstand, dass weisses, isoliertes Papier niemals eine ähnliche Färbung annimmt, wie sie das Himmelsgewölbe aufweist. Clausius stellt das Himmelsblau in direkte Parallele zu den bekannten Newtonschen Farbenringen.*) Je nachdem die in der Luft schwebenden Wasserbläschen eine dünnere oder dickere Wandung besitzen, soll sich beim Interferieren der von jenen Wandungen zurückgeworfenen Lichtstrahlen ein Blau „erster" oder „zweiter" Ordnung bilden; jede höhere Ordnung entspricht einem mehr und mehr an Weiss anklingendem Blau.

In der Nähe des Horizontes, wo die Luftschichten dichter sind als in grösserer Höhe, pflegen jene ganz anders gearteten Farbenerscheinungen aufzutreten, welche man als Morgen- und Abendröte hezeichnet. Den Schlüssel zur richtigen Erklärung dieser Erscheinungen bietet eine zufällig von Forbes am Sicherheitsventile einer Dampfmaschine gemachte Wahrnehmung, aus der zu folgern ist, dass Wasserdampf je nach seiner Annäherung an den tropfbar-flüssigen Aggregatzustand die kurzwelligen oder die langwelligen Farben absorbiert. Des Morgens und Abends ist die Zusammensetzung des Wasserdampfes häufig eine solche, dass er die Strahlen des Rot und Orange ungehindert durchlässt, während zu anderen Zeiten des Tages gerade diese Strahlen in der Atmosphäre zurückgehalten werden. —

In Verbindung mit der Abendröte bemerken wir gar nicht selten das sogenannte Wasserziehen der Sonne oder, wie es in der wissenschaftlichen Sprache heisst, das Aussenden von Dämmerungsstrahlen. Die Wolkenmassen erscheinen durch Strahlenbündel unterbrochen, welche in Wahrheit natürlich einander parallel sind.**) Gewöhnlich sieht man solche Dämmerungsstrahlen nur in unmittelbarer Nähe der ihrem Untergange sich zuneigenden Sonne, viel seltener wird das Wasserziehen nach dem Gegenpunkte der Sonne beobachtet. Auch dieses Phaenomen ist eine sehr einfache Wirkung der Perspektive; da zwei Hauptkreise der Kugel sich stets in zwei Punkten durchschneiden müssen, so muss dem schon erwähnten einen

*) Wenn man ein sphaerisches Glasstück von sehr grossem Krümmungshalbmesser an eine Tangentialebene andrückt, so bilden sich im durchgehenden Lichte konzentrische Farbenringe um den Berührungspunkt herum. Eine bestimmte Farbe, also etwa Blau, kommt in diesen Ringen, deren Zustandekommen ihr Entdecker Newton noch nicht, sondern erst die später ausgebildete Vibrationstheorie des Lichtes zu erklären vermochte, mehrfach vor, doch ist, je grösser der Radius des Ringes ist, dessen Farbe eine minder ausgesprochene, eine verwaschenere. Damit hängt die Klassifikation der Farben nach den erwähnten „Ordnungen" zusammen.

**) Ebenso wie die beiden Baumreihen einer Chaussée in grösserer Entfernung zusammenzurücken scheinen, verwandelt die perspektivische Täuschung jedes Aggregat paralleler in ein System konvergierender Linien. Dies gilt z. B. auch vom Polarlichte, welches sich mitunter als eine strahlende Sonne darstellt, während doch seine Strahlen sämtlich einer gewissen Richtung parallel verlaufen.

Konvergenzpunkte, der Sonne, ein zweiter, ihr diametral gegenüberliegender entsprechen. —

Reflektiertes Licht ist immer teilweise polarisiert, und nur für einzelne neutrale Punkte des Himmels wird eine solche Polarisation als nicht vorhanden angenommen werden dürfen. Es sind deren bis jetzt drei bekannt, deren Entdeckung bezüglich Arago, Babinet und Brewster geglückt ist. Neuere Untersuchungen über die Lage dieser Punkte und die Beziehungen dieser Lage zum Sonnenstande hat Busch angestellt*); dieselben weisen anscheinend auf eine weiterer Aufklärung bedürftige Verwandtschaft der Polarisationserscheinungen mit einem anderen, später zu erörternden Probleme der meteorologischen Optik hin. —

Hier ist wohl auch der geeignete Ort, der atmosphaerischen Linien im Sonnenspektrum zu gedenken. Zantedeschi hat dieselben zuerst wahrgenommen, Gladstone und Brewster haben ihr Auftreten systematisch verfolgt, und später haben Secchi und Janssen viel zur Kenntnis derselben beigetragen. Die beste Abbildung derselben verdankt man Angström.**) Sobald die Sonne nicht mehr weit vom Westhorizonte entfernt ist, erscheinen im Spektrum dunkle Linien und Bänder, welche am hellen Tage gar nicht oder doch nur sehr schwach sichtbar gewesen waren; sie finden sich vornämlich im weniger brechbaren Teile des Sonnenbildes, in der Nähe der Fraunhofer-Linie D am ausgeprägtesten. Je höher der Beobachtungsort über dem Meeresspiegel gelegen ist, um so schwächer werden diese Absorptionsstreifen, welche höchst wahrscheinlich von den im atmosphaerischen Wasserdampf verschluckten Strahlen herrühren; Cornu allerdings scheint die absorbierende Thätigkeit weniger dem Wasserdampfe als dem Sauerstoffe der Luft zuschreiben zu wollen, allein sichergestellt ist dies noch keineswegs, und der gleich jetzt zu beschreibende Versuch fällt doch entschieden zu gunsten der älteren Ansicht in die Wagschale. Janssen nämlich liess das Licht einer gewaltigen Flamme durch eine an beiden Enden mit Spiegelglasplatten versehene Röhre hindurchstreichen; wenn er die Röhre mit trockener Luft füllte, so waren die Streifen nicht zu bemerken, wenn er dagegen Wasserdampf einströmen liess, erschienen dieselben in voller Reinheit. Jedenfalls ist es bemerkenswert, dass die Spektren derjenigen Planeten, die wir aus hievon ganz unabhängigen Gründen als von einer dichten Gas- und Dampfhülle umschlossen voraussetzen dürfen, die Absorptionsstreifen der Erdatmosphaere sehr verstärkt zeigen. Dies gilt vom Saturn, vom Jupiter, ganz besonders auch vom Mars, der also wohl im Besitze einer der Erde recht ähnlichen,

*) Da die Punkte, resp. deren Sichtbarkeitsverhältnisse, vom Stande der Sonne abhängig sind, so sind nicht alle gleichzeitig erkennbar. Wenn man gegen den Himmelspol ein um seine Achse drehbares, mit einem zur Achse lotrecht stehenden Teilkreise versehenes Polariskop richtet, so kann man in jedem Momente die Lage der Polarisationsebene des Poles und damit annähernd die Zeit feststellen. Hierauf beruht eine geistvolle Spielerei, die „Polaruhr" von Wheatstone.

**) Angström, Recherches sur le spectre solaire, Upsala 1868; Schellen, Die Spektralanalyse in ihrer Anwendung auf die Stoffe der Erde und auf die Natur der Himmelskörper, Braunschweig 1870. S. 197 ff.

aber, da auch das Blau von solchen Banden durchsetzt ist, doch wieder in mancher Hinsicht abweichenden Atmosphaere sein dürfte. Auch in der Sonnenatmosphaere, zumal in nächster Nähe grosser Sonnenflecke, wies Secchi Wasserdampf nach*), und es fand seine Entdeckung bekanntlich bald nachher eine glänzende Bestätigung: in jenen sonderbaren Protuberanzen des Sonnenkörpers, welche man bei totalen Verfinsterungen kennen, später jedoch auch direkt im Spektroskope zu sehen gelernt hatte, erblickt die Mehrzahl der Forscher jetzt Eruptionen glühender Gase und Dämpfe. —

Im klimatologischen Abschnitte ward erzählt, dass unter den Tropen der Übergang vom Tage zur Nacht und umgekehrt von der Nacht zum Tage sich mit einer für den Europaeer sehr peinlichen Plötzlichkeit vollziehe. Anders in höheren Breiten; hier schiebt sich stets ein Übergangszustand ein, welchen man bekanntlich Abend- und Morgendämmerung nennt, und der, nachdem unser Wissen von ihm lange Zeit stationär geblieben war, neuerdings die Meteorologie und die Optik vor eine Reihe schwer zu behandelnder Aufgaben gestellt hat.

Schon sehr frühzeitig, durch den Araber Alhazen, den deutschen Witelo (s. o.), durch Kepler und durch andere Gelehrte wurde die geometrische Theorie der Dämmerung bearbeitet und zu einem gewissen Abschlusse gebracht. Lamberts „Photometria" (1760) skizziert das Wesen dieser Theorie etwa in der folgenden Weise.**) Der innere der beiden um den Punkt C als gemeinsamen Mittelpunkt beschriebenen Kreise repräsentiere einen Hauptschnitt der Erdkugel, der äussere einen ebensolchen der sphaerischen Grenzfläche unserer Atmosphaere.***) A (Fig. 63) sei ein Punkt der Erdoberfläche, B liege auf jener Grenzfläche, aber im (scheinbaren) Horizonte von A. Sobald die im Sinne des beigesetzten Pfeiles sich bewegende Sonne ein klein wenig über B hinaus, etwa nach B' gekommen ist,†) können ihre Strahlen, durch die Erdkrümmung behindert, den Punkt A nicht mehr direkt erreichen, wohl aber kann noch längere Zeit hindurch das Sonnenlicht durch einmalige Reflexion an der Grenzfläche nach A gelangen, solange nämlich, bis die Sonne nach

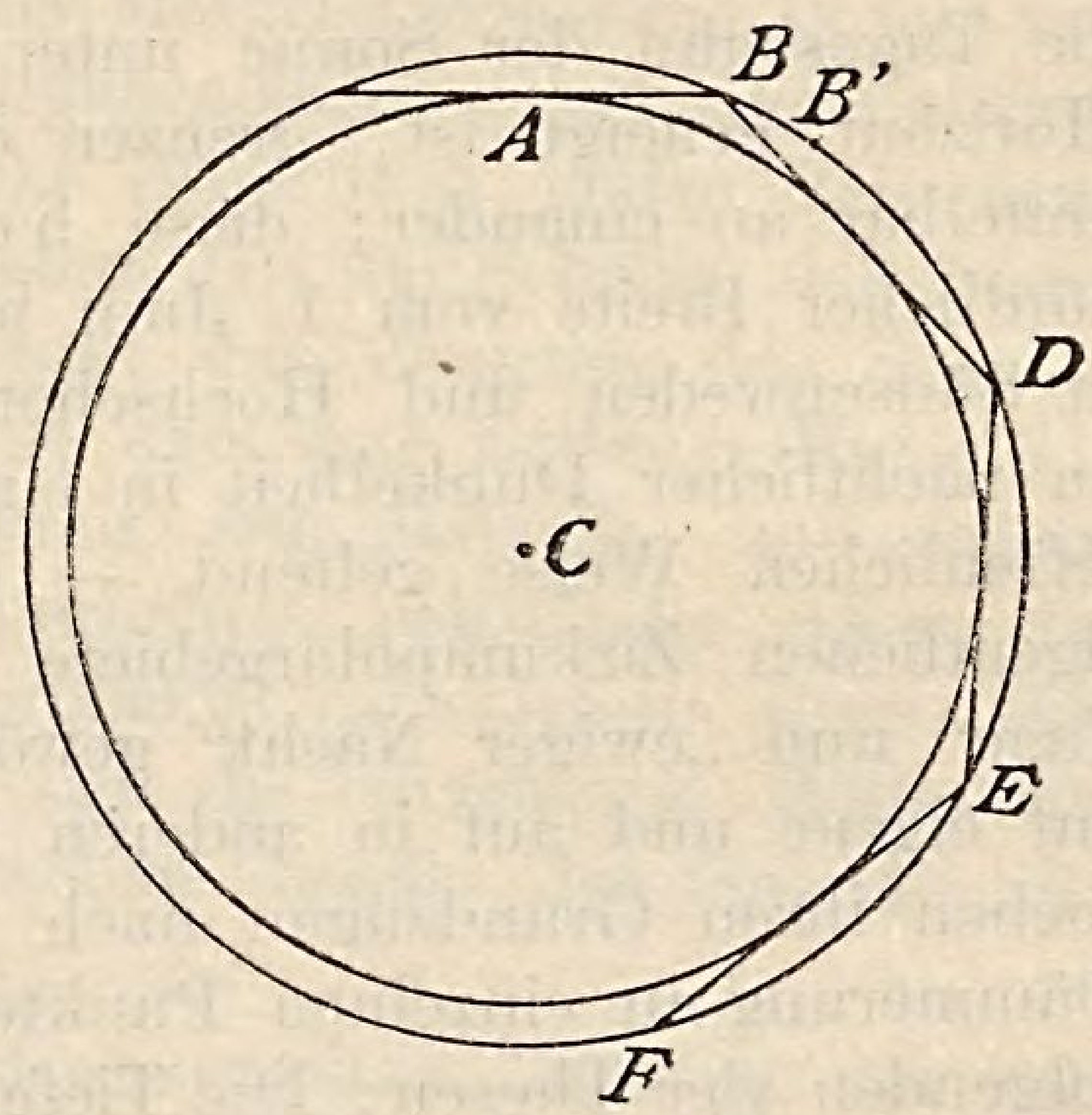


Fig. 63.

*) Mitteilung an die Pariser Akademie vom 27. Januar 1870.

**) Ein Blick auf die Zeichnung vergewissert darüber, dass die geometrische Theorie der Dämmerung in inniger Verbindung steht mit dem im ersten Hauptstücke erörterten Versuche des Alhazen, eine Höhenbestimmung unserer Atmosphäre zu erhalten.

***) Als Grenzfläche betrachten wir hier diejenige, deren Luftteilchen noch die Fähigkeit, Licht zurückzustrahlen, besitzen.

†) Wir gestatten uns hier die Fiktion, anzunehmen, dass die Sonne ihre (scheinbare) Bewegung auf der Grenzfläche selbst vollziehe, weil durch

D gekommen ist, unter D den Schnittpunkt des Grenzkreises mit einer aus B an ihn gelegten gradlinigen Tangente verstanden. Macht man Bogen DE = EF = BD und zieht die zugehörigen Sehnen, so sieht man leicht ein, dass die Sonne, während sie von D nach E sich bewegt, noch durch zweimalige Reflexion, während sie von E nach F sich bewegt, durch dreimalige Reflexion Strahlen nach A zu werfen vermag, und so geht es weiter fort. Man sprach und spricht wohl auch heute noch von einer ersten, zweiten, dritten Dämmerung, je nachdem der anlangende Strahl entsprechend oft zurückgeworfen worden war. Die dritte Dämmerung liefert nur noch so matte Strahlen, dass das Auge sie kaum noch recht zu unterscheiden weiss, während die zweite, einer von Lambert ausgearbeiteten, jede einzelne Dämmerungsphase genau nach der Zeit markierenden Tafel*) zufolge, sich allerdings noch ganz gut bemerklich macht. Dass über dem sich mehr und mehr ausbreitenden dunkeln Segmente eine sich stetig verkleinernde helle Schicht sich befinde, die sogenannte Gegendämmerung, war auch älteren Schriftstellern — wir führen nur Funck und Mairan an — nicht entgangen.

Man unterscheidet häufig zwischen bürgerlicher und astronomischer Dämmerung. Definiert können diese Begriffe, wie sich von selbst versteht, nicht ohne eine gewisse Willkürlichkeit werden; man ist übereingekommen, als Grenzen jeweils der einen und der anderen Dämmerung die Zeitpunkte anzusetzen, zu welchen die Sonne resp. 6° und 18° unter dem Gesichtskreise steht. Näher dem Pole zu, wo also die Tagesbahn der Sonne unter einem sehr spitzen Winkel gegen den Horizont geneigt ist, grenzen oft Abend- und Morgendämmerung unmittelbar an einander; diese hellen Nächte reichen schon in 50° nördlicher Breite vom 1. Juni bis 12. Juli, und noch weiter nördlich, in Südschweden und Hochschottland, macht sich bereits der Mangel an nächtlicher Dunkelheit in einer für unser Nervensystem recht wenig erfreulichen Weise geltend — ein Übergang für denjenigen, der im eigentlichen Zirkumpolargebiete sich an die Gegensätze von „ewigem Tage“ und „ewiger Nacht“ gewöhnen soll. Hellmann hat, gestützt auf eigene und auf in anderen Ländern angestellte Beobachtungen, die soeben ihren Grundzügen nach dargelegte Lambertsche Theorie der Dämmerung in einzelnen Punkten modifiziert durch die Aufstellung der folgenden vier Thesen: Die Tiefe der Sonne unter dem Horizonte beträgt am Ende der astronomischen Dämmerung 15,6°; der Depressionswinkel ist am kleinsten im Sommer, am grössten im Winter; die Morgendämmerung währt etwas länger als die Abenddämmerung; die Dämmerungsdauer wächst mit der Zunahme der relativen Feuchtigkeit. Letzteres ist wohl erklärlich, da, wie oben erwähnt, der atmosphärische Wassergehalt der Luft deren Durchsichtigkeit befördert. Zu den schwierigeren

diese Annahme die Beschreibung der Vorgänge erleichtert wird und diese selbst nicht wesentlich modifiziert werden. Wollten wir allerdings ganz strenge verfahren, so dürften wir den auf der Grenzfläche dahinwandernden Punkt nicht mit der Sonne selbst, sondern nur mit dem Punkte identifizieren, in welchem der nach A gelangende Strahl jeweilen den Grenzkreis schneidet.

*) Clausius, a. a. O., S. 379 ff.

Aufgaben der meteorologischen Optik gehört die, für eine gegebene geographische Breite den Tag und die Dauer der kürzesten Dämmerung zu ermitteln. Gestellt ward diese Aufgabe zuerst durch den Portugiesen Nuñez, gelöst wurde sie durch Joh. Bernoulli, D'Arrest und Stoll, durch den letzteren in besonders einfacher Weise.

Späterhin überzeugte man sich mehr und mehr, dass die schematische Auffassung des Dämmerungsphänomenes, bei aller unbestreitbarer Richtigkeit, doch keine vollkommene Einsicht in das Wesen der Sache zu liefern vermögend sei; insbesondere war für die Dämmerungserscheinungen im Hochgebirge*) wenig mit jenen geometrischen Konstruktionen anzufangen. Eine gründliche, auf länger dauernder und exakter Beobachtung beruhende Analyse des ganzen Vorganges hat zuerst 1864 v. Bezold**) gegeben. Bei jeder normal verlaufenden, nicht durch Wolken beeinträchtigten Dämmerung erscheint zunächst an jener Seite des Himmels, an welcher die Sonne sich (unterhalb des Horizontes) befindet, das helle Segment, ihm gegenüber, als der aschenfarbene Schatten der Erde, das dunkle Segment, welches sich scharf von der Gegendämmerung, d. h. von dem durch reflektierte Strahlen erleuchteten Teile des Himmelsgewölbes, abhebt. Ferner bemerkt man eine schwachleuchtende Kreisscheibe von namhaftem Durchmesser und von blasspurpurroter Färbung — das jetzt allgemein mit diesem Namen bezeichnete Purpurlicht. Es tritt — wir halten uns jetzt der Kürze wegen blos an die von der Morgendämmerung ja fast nur nach der zeitlichen Reihenfolge der Einzelphaenomene verschiedene abendliche Dämmerung — dieses Purpurlicht (Fig 64a) einige Zeit nach Sonnenuntergang so hervor, dass der untere Teil der Scheibe sich hinter dem hellen Segmente verbirgt; dann sinkt das Zentrum der Scheibe, während zugleich deren Radius wächst, so dass eine zeitlang (Fig. 63b) das Licht als ein vollkommener Halbkreis sich darstellt, und zuletzt (Fig. 64c) scheint der Kreis des Purpurlichtes vollständig unter das Segment hinabzugleiten. In dem Augenblicke, in welchem jenes seine höchste Entwicklung erreicht, steigert sich die allgemeine Helligkeit, so dass Gegenstände sichtbar werden, welche bereits der Schatten der

*) Wir haben hier das sogenannte Alpenglühen im Auge, das wohl jedermann, dem die Alpen nicht ganz fremd sind, aus eigener Anschauung kennt, und das bei Schneeflächen und bei steilen Felsabhängen einen geradezu magischen Eindruck hervorruft. Nach R. Wolf, der sich Jahre hindurch genaue Aufzeichnungen über die in Bern oft recht grossartig zu sehende Erscheinung gemacht hat, zeigt sich das Glühen, wenn die Sonne etwa 5° über dem Horizont steht und erreicht bald ein Maximum; während die Höhe der Sonne von + 2° bis — 2° abnimmt, erlischt der Glanz der direkten Bestrahlung, die Berghäupter nehmen die bekannte „Leichenfarbe" („teinte cadavéreuse") an, um bald darauf, wenn die Sonne bei — 4° Höhe steht, in plötzlichem Nachglühen noch einmal aufzuleuchten. Einige Minuten später senkt sich dann die Nacht thatsächlich auf die Berge herab. Den Schlüssel zum Verständnisse dieses Wechsels bietet das, was gleich nachher über das erste und zweite Purpurlicht gesagt wird; es leuchtet auch ein, dass nicht nur beim Hochgebirge, sondern wohl auch bei exponierten Gebäuden ähnliche Wahrnehmungen gemacht werden können.

**) Annalen d. Phys. u. Chem., 123. Band. S. 240 ff.

Nacht bedeckt zu haben schien. Letzteres tritt etwa dann ein, wenn die negative Höhe der Sonne 4 bis 5 Grad beträgt, der Mittelpunkt der Purpurscheibe ist dann etwa 18^{0}, der höchste Scheitel derselben etwa 50^{0} vom Horizonte entfernt. Sowie die Scheibe vom hellen Segmente zugedeckt ist, erscheint am Westhimmel das zweite dunkle Segment; auch das zweite helle Segment bildet sich, wiewohl weniger scharf vom ersten abgegrenzt, über diesem, und häufig kommt ganz zum Schlusse der ganzen Dämmerung noch ein zweites Purpurlicht zum Vorscheine, welches denn auch einen schon zweimal unsichtbar gewordenen Gegenstand unter Umständen zum drittenmale mit schwachem Glanze zu übergiessen vermag. Besonders schön gestaltet sich nach Burckhardt-Jezler der Blick auf diese Abendlichter in verschiedenen Küstengegenden Südamerikas.

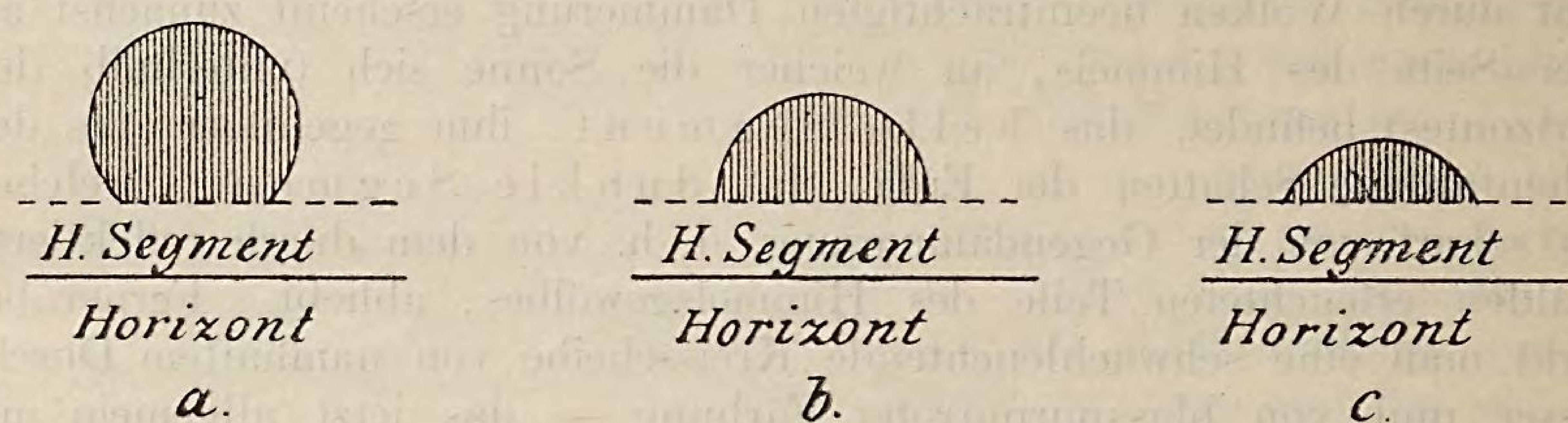


Fig. 64.

Zu manchen Zeiten ist das Hervortreten des zweiten Purpurlichtes ein ungewöhnlich drastisches; auch können noch weitere sekundäre Erscheinungen hinzutreten, und dann hat man es mit jenen anomalen Dämmerungserscheinungen zu thun, welche seit dem Spätjahre 1883 sowohl die Männer der Wissenschaft als auch das grössere Publikum so angelegentlich beschäftigt haben. Die Litteratur lässt keinen Zweifel darüber, dass da durchaus keine wirkliche Novität vorlag, dass vielmehr seit mehr denn einem Jahrhundert da und dort ein ungewöhnlicher Verlauf der Dämmerung bemerkt und notiert worden war,*) allein in solcher Schönheit und Dauer wohl kaum jemals. Seit jenem Zeitpunkte hat sich unser thatsächliches Wissen noch erheblich vermehrt, und es sind besonders drei ursächlich wohl zusammenhängende Phänomene, die von uns Erklärung heischen: das Nebelglühen in Verbindung mit ungewöhnlicher Sonnenfärbung, der braune Sonnen- und Mondring und die irisierenden Wolken.

Das Thatsächliche der erstgenannten Erscheinung wird von einem im Unterscheiden feiner Licht- und Farbennuancen wohl geübten Fachmanne, dem Photographen Krone, geschildert, wie folgt. Nach dem

*) Vgl. Kiessling, Beiträge zur Chronik ungewöhnlicher Sonnen- und Himmelsfärbungen, Hamburg 1887. Es hat zwar Traumüller durch Auszüge aus älteren Zeitschriften und Beobachtungsbüchern die Anzahl der schon früher zur Kognition gelangten Fälle als eine ziemlich namhafte nachzuweisen gesucht; Kiessling jedoch wendet mit Recht ein, dass die Beschreibungen vielfach zu kurz und oberflächlich sind, um den Schluss zu rechtfertigen, dass jene Dämmerungserscheinungen ganz dieselben wie 1883 gewesen seien.

Verschwinden der meist in intensiv hellem Goldglanze strahlenden Sonne war die betreffende Himmelsgegend rotgelb und orange gefärbt, und diese Farben breiteten sich, gegen den Ostpunkt hin ins grünliche spielend, mehr und mehr um den ganzen Gesichtskreis aus. Die direkte Umgebung der Sonne leuchtete in purpurner Glorie, der übrige Horizont dagegen reflektierte ein stumpferes rosenrotes Licht, welches sich näher dem Scheitelpunkte in ein fahles Grünlichgelb verwandelte. Plötzlich ging dann, im Verlaufe weniger Minuten, die vorwiegend gelbe Himmelsfarbe in reines orange über, nur am Untergangspunkte behauptete sich der Purpurschein. So war der Gang der Erscheinung am Abend, am frühen morgen verhielt sich alles gerade entgegengesetzt. Solange die Sonne noch höher am Himmel stand, erschien sie häufig von einer blauen oder bläulichgrünen Gloriole umgeben und leuchtete selbst in diesen Farben statt, wie sonst, in reinem Weiss. Nach Alluard steigerte sich der Glanz des Nebelglühens in grösserer Entfernung von dem Erdboden, wie denn auf dem Gipfel des Puy de Dôme schon in den Wintern 1879/80 und 1880/81 die Dämmerung durch ungewöhnliche Farbenspiele sich ausgezeichnet haben soll. Die theoretische Erklärung bot begreiflicherweise ihre Schwierigkeiten. Während die Einen an ein gewöhnliches Brechungsphänomen, hervorgerufen durch hoch schwebende prismatische Eiskrystalle, dachten, glaubten Andere eine ungewöhnlich starke Beimengung von Wasserdampf als die Ursache betrachten zu müssen. Die Mehrzahl der Forscher dagegen entschied sich für die von Kiessling*) mit Geschick und Ausdauer verfochtene Ansicht, dass eine Diffraktionserscheinung vorliege, und dass die einfallenden Lichtstrahlen durch äusserst kleine Körperchen gebeugt würden, welche als Bestandteile einer zusammenhängenden Dunstschicht**) in den höheren Regionen unserer Atmosphäre verteilt seien. Verhielt es sich wirklich so, dann konnte die Probe durch künstliche Nachahmung der anomalen Dämmerungsfarben gemacht werden; hiezu dient Kiesslings sogenannter Nebelglühapparat. Es wurde eine halbkugelförmige Glasglocke auf eine matte Glasplatte aufgesetzt; letztere war durchbohrt, und durch den die Bohrung verschliessenden Gummistopfen konnten Glasröhren hindurchgesteckt werden. Die Glocke selbst stellt den Diffraktionsraum vor; in diesen lässt man schweflige Säure und Ammoniakgas einströmen, worauf sich bald dichte weisse Staubwolken von schwefelsaurem Ammoniak bilden. Wenn man dann in diesen Raum die vom Heliostaten***) reflektierten Sonnenstrahlen leitet, so konstatiert man allgemach bunte Farbenveränderungen; zuerst erscheinen die künstlichen Wolken in reinem Kupferglanze, hierauf

*) Kiessling, Die Dämmerungserscheinungen im Jahre 1885 und ihre physikalische Erklärung, Hamburg-Leipzig 1885.

**) Einen Beleg für die Zartheit dieser Dunstmaterie liefert insbesondere auch der Umstand, dass — einer sehr umfassenden Beobachtungsreihe von Posselt in Nizza zufolge — das Licht der Sterne durch die Dämmerungsfarben keine nennenswerte Schwächung erleidet.

***) Dieses Instrument, ein notwendiges Requisit des physikalischen Laboratoriums, besteht wesentlich aus einem beweglichen Spiegel, der sich stets nach dem Stande der Sonne einstellt und deren Strahlen nach einem bestimmten Punkte des Zimmers hin lenkt.

zeigt sich ein violetter Ton, der schnell durch ein dunkles Karmoisin hindurch in Azurblau übergeht. Das Farbenbild gestattet seine objektive Festhaltung an weisser Wand vermittelst des Heliostatenspiegels. Natürlich kann man anstatt der genannten auch andere Gase zur Füllung des Diffraktionsraumes nehmen, und dann ist das Farbenspiel ebenfalls ein anderes. Wasserdampf z. B. bewirkt, dass die Glocke zuerst braunrot, später graublau aussieht. Der die Farben hervorbringende Dunst kann, den Beugungsringen nach zu schliessen, nicht aus hohlen Bläschen, er muss vielmehr aus massiven Kügelchen gebildet sein. Damit also die schönen Farben der Dämmerung sich zeigen, muss in den oberen Schichten der Atmosphaere ein äusserst feiner, gleichmässiger, aus Wasserkörperchen bestehender Nebel vorhanden sein, dessen Bildung selbst wieder von der vorherigen Existenz eines äusserst fein verteilten Staubes am fraglichen Orte abhängt. Wahrscheinlich ist das uns bekannte Purpurlicht der normalen Dämmerung selbst nichts anderes als der obere Teil eines stark exzentrischen Diffraktionsbildes. Nun entsteht die Frage: Welchen Ursprung hat die Dunstmaterie, gehört sie unserer Lufthülle ständig an oder ist ihr Aufenthalt in derselben nur ein vorübergehender? Da ist denn zu erwidern, dass eine nicht geringe Wahrscheinlichkeit besteht für den Zusammenhang der anomalen Dämmerung mit dem gegen Ende August 1883 stattgefundenen furchtbaren Ereignis in der Sunda-Strasse, dem Ausbruche des Krakatau-Vulkanes. Schon früher hatte man, wenn eine vulkanische Eruption ungeheure Dampf- und Aschenmassen der Atmosphaere einverleibte, eine blaue Färbung der Sonne und eine besonders lebhafte Dämmerung zu konstatieren gehabt; so 1831, als auf den Bermudas-Inseln ein Vulkan thätig war und zugleich durch eine submarine Aufschüttung das ephemere Inselchen Pantellaria im mittelländischen Meere entstand. Auch zu Beginn des Monates August 1883, als die Katastrophe des Krakatau-Berges sich durch einen heftigen Aschenregen ankündigte, sah Kapitän Hollmann die Sonne daselbst azurblau gefärbt. Oben, im dynamischen Teile, erfuhren wir, dass die Intensität des Stosses, mit welchem der Zusammenbruch eines beträchtlichen Teiles des Erdgerüstes auf den Luftkreis wirkte, eine ganz gewaltige war, und wenn man aus der bekannten Geschwindigkeit, mit welcher die Stosswelle den Erdball umwanderte, die Zeiten berechnete, in welchen sich der Anstoss verschiedenen Punkten der Erdoberfläche bemerklich machte, so waren dies ungefähr dieselben Zeitpunkte, in denen an jenen Orten die ungewöhnliche Dämmerung zuerst signalisiert wurde. Auch braucht ja nicht blos das hinterindische Vorkommnis allein in frage zu kommen, es war nur eines, wennschon das mächtigste, unter vielen gleichzeitigen, denn Neumayers umsichtige Bearbeitung einer Vielzahl von Korrespondenzmitteilungen lässt keinen Zweifel darüber bestehen, dass in den kritischen Tagen die Erdrinde weithin in einem Zustande der Zuckung sich befand; besonders aktiv war insbesondere der Feuerberg St. Augustin in Alaska. Allerdings sind auch Einwände gemacht worden; Hann wies auf das bedenkliche der Annahme hin, dass die feinen Aschenteilchen sich so lange Zeit hindurch in beträchtlicher Höhe — man schätzt dieselbe auf 60 bis

70 km — schwebend erhalten haben sollten, und Ricco, der mit den Auswürflingen seines Heimat-Vulkanes, des Aetna, genau vertraut ist, hebt hervor, dass die infolge der vulkanischen Eruptionen allerdings häufig eintretenden atmosphaerischen Lichterscheinungen anders als das eigentliche Nebelglühen geartet zu sein pflegten. Wenn wir aber von Langley erfahren, dass der Rauch der brennenden Stadt Chicago bis an das Ufer des grossen Ozeanes getrieben worden ist, wenn wir ferner jener ausserordentlicher Trübungen der Luft gedenken, welche nach dem Berichte v. Danckelmans die gewöhnlichen afrikanischen Grasbrände zuwege bringen, so dürfen wir von einem selbst so ausserordentlichen Ereignisse, wie es die Zerstörung der Insel Krakatau war, auch eine ganz aussergewöhnliche Einwirkung auf die Atmosphäre erwarten und sehen uns deshalb nicht veranlasst, von einem früher abgegebenen, die nötige Reserve wahrenden Urteile abzugehen, welches so lautet*): Die vulkanistische Hypothese scheint durch optische Gründe wesentlich gestützt, durch Erwägungen anderweit-geophysikalischer Natur dagegen nicht ernstlich gefährdet zu sein.

Wir treten nunmehr dem zweiten der drei oben angeführten Punkte näher. Im September 1883 machte der Reverend Bishop in Honolulu (Sandwichs-Inseln) die Wahrnehmung eines die Sonne konzentrisch umgebenden braunroten Ringes, welcher nach diesem seinem ersten Entdecker deshalb auch nicht selten als Bishopscher Ring bezeichnet wird. Am 27. November gleichen Jahres zeigte sich dieser Ring auch in Deutschland, wo ihn dann hauptsächlich Assmann fortdauernd beobachtete. Seitdem ist er häufig gesehen und gemessen worden; auch dann, wenn er in der Ebene nur schwach sichtbar war, konnte man ihn in der dünneren Luft höherer Berge noch sehr deutlich sich aus den Sonnenstrahlen herausheben sehen. Bishop selbst nahm auch für die Entstehung dieses Luftgebildes den Krakatau-Ausbruch in anspruch,**) indem er nach Verbeek das Volumen der bei jener Gelegenheit ausgeworfenen Asche auf 18 Kubikkilometer bezifferte. Diese Ansicht teilen auch andere Gelehrte, besonders durch den Umstand veranlasst, dass die Sichtbarkeit auch dieses Phaenomenes im Osten früher als im Westen begann.***) Die besten Messungen des Ringes besitzen wir von Riggenbach:†) danach betrug der sphaerische Radius der inneren hellen Scheibe 10°, der mittlere Radius des Farbenringes 14° und der Radius der äusseren Ringperipherie 22°. Die beim Sonnenuntergang (s. o.) über der Sonne stehende helle Scheibe betrachtet der genannte Autor als einen Teil des erweiterten Ringes, dessen Rest durch Lichtabsorption unkenntlich gemacht wäre. Während durch diese letzterwähnte Thatsache eine Beziehung zwischen der gewöhnlichen und

*) Günther, Lehrbuch der Geophysik, 2. Band, Stuttgart 1885. S. 143.

**) American Meteorological Journal, Vol. III. S. 127 ff. S. 193 ff.

***) Ein spanischer Meteorologe, Arcimi, möchte den Bishopschen Ring sogar direkt durch den Beinamen „Corona solar cracatoense“ ausgezeichnet wissen.

†) Riggenbach, Beobachtungen über die Dämmerung, insbesondere über das Purpurlicht und seine Beziehungen zum Bishopschen Sonnenringe, Basel 1886.

der anomalen Dämmerung angezeigt wird, scheint auch von einer anderen Seite her (s. o.) die Bedeutung des Bishopschen Ringes sich schärfer praezisieren lassen zu wollen. Es liegt nämlich, wie Busch durch sehr mühsame Beobachtungen feststellte, bei hohem Sonnenstande der uns bekannte neutrale Polarisationspunkt von Babinet gerade dort, wo sich später der braunrote Ring am lebhaftesten gefärbt zeigt. Wir können auf die nähere Charakteristik der Erscheinung hier nicht eingehen und erwähnen nur noch, dass nach allgemeiner Ansicht eine Beugung der Lichtstrahlen auch hier als Ursache gilt.*) Ein treffliches Mittel zur Erweiterung unserer Kenntnisse in der fraglichen Angelegenheit würde die Beobachtung einer totalen Sonnenfinsternis darbieten, und für diejenige, welche im August 1887 stattfand, waren auch bereits die wünschenswerten Vorkehrungen getroffen, indem Zenker die nötigen Formeln, in welche dann blos die bei der Beobachtung erhaltenen Werte einzusetzen waren, vollständig entwickelt hatte. Zum grossen Schaden für die Wissenschaft ist aber bekanntlich die Verfinsterung fast allerorts durch einen dichten Wolkenschleier den Augen der Menschen entzogen gewesen. — Der braune Ring um den Mond ist von Dreisbach und Kremser gesehen worden; er hatte einen mittleren Halbmesser von etwa 10^0 und muss natürlich ganz auf die gleiche Entstehungsursache zurückgeführt werden, wie der Bishopsche Sonnenkranz.

Um die Erforschung der irisierenden oder, wie man wohl auch sagt, der leuchtenden, glänzenden, silbernen Wölkchen hat sich Jesse besondere Verdienste erworben. Im Juni und Juli 1885 konnte man diese schöne Erscheinung am deutlichsten wahrnehmen; 15 bis 35 Minuten nach Untergang der Sonne hatten sich die Lichtwolken, die der Form nach von den Zirruswolken kaum zu unterscheiden gewesen wären aber durch einen steten Wechsel ihrer Lichtintensität sich auszeichneten, über die ganze Fläche des Himmels ausgebreitet. Mac Connel, der in St. Moritz (Graubünden) die leuchtenden Wolken auch den Winter hindurch zu verfolgen in der Lage war, glaubt, dass jene eben auch als Diffraktionserscheinung aufzufassen, dass mehrere Beugungsspektren vorhanden und dass die die Beugung bewirkenden Objekte keine anderen als feine Eisnadeln seien. Uns will die Jessesche Hypothese ungleich besser zusagen, nach welcher den Träger der

*) Ganz so, nämlich als eine in reflektiertem Lichte sich vollziehende Strahlenbeugung erklärt Kiessling auch die ringförmige Gegendämmerung, auf welche Torbern Bergman allerdings bereits 1760 aufmerksam geworden war, die aber doch erst in allerneuester Zeit infolge der Arbeiten von Jesse und Cornu wieder Gegenstand allgemeineren Interesses geworden ist. Das wesentliche dieser ungewöhnlichen Gegendämmerung, deren Analogon herzustellen der Kiesslingsche Glühapparat (s. o.) gestattet, ist folgendes. Wenn die Sonne gerade untergeht, ruht auf dem Osthorizonte eine diffus rötlich gefärbte Öse, deren beide Ausläufer in gesättigtem rötlich-violettem Lichte spielen. Während die Sonne sinkt, erhebt sich diese Öse langsam über den Horizont, nimmt an Glanz ab und löst sich zuletzt in einen gleichmässigen unbestimmten Schimmer auf. Cornu hält auch dafür, dass das vom Gegenpunkte der verschwindenden Sonne ausgehende Licht in aussergewöhnlichem Polarisationszustande sich befinde.

Erscheinung eine in grosser Höhe*) über der Erde schwebende Dunstmasse abgibt. Vielleicht hat auch diese Masse einen vulkanischen Ursprung; wenigstens lassen sich dafür, wie Kohlrausch darthat, mehrere Gründe geltend machen. Jesse schreibt dem Stoffe den Charakter eines im feinsten Verdünnungszustande befindlichen Gases zu und hält die Möglichkeit, durch spektroskopische Beobachtungen zur Erkenntnis der Natur dieses Gases zu gelangen, nicht für ausgeschlossen.**) —

Indem wir von der Dämmerung und ihren Begleiterscheinungen abschied nehmen, wenden wir uns gewissen Deformationen zu, welche der an sich gradlinige Lichtstrahl beim Durchgange durch Luftschichten von verschiedener Zusammensetzung erleidet, welche unter Umständen zum Entstehen der sonderbarsten optischen Bilder führen und unter den Namen Kimmung und Luftspiegelung zusammengefasst werden. Ersteres Wort im besonderen bezeichnet auf offenem Meere eine Erhebung des Seehorizontes, durch welche entfernte, für gewöhnlich unsichtbare Gegenstände sichtbar gemacht werden. Die Gestalt der Kurve, in welche sich der Lichtstrahl durch die Krümmung verwandelt, ist von Biermann***) mathematisch bestimmt worden. Auch ergeben sich wohl Doppelbilder, man sieht z. B., wie es Fig. 65 deutlich macht, über einem Schiffe dessen Spiegelbild in der Luft schweben.†) Auch Binnenseen eignen sich für einen eifrigen Beobachter zur Sammlung derartiger Erfahrungen. Ganz besonders verwirrend wirkt aber die Luftspiegelung über erhitzten Flächen; dies ist die bekannte Fata Morgana der Wüste, welche dem erstaunten Wanderer die merkwürdigsten Gebilde vor die Augen zaubert, Gebilde, die beim Näherkommen

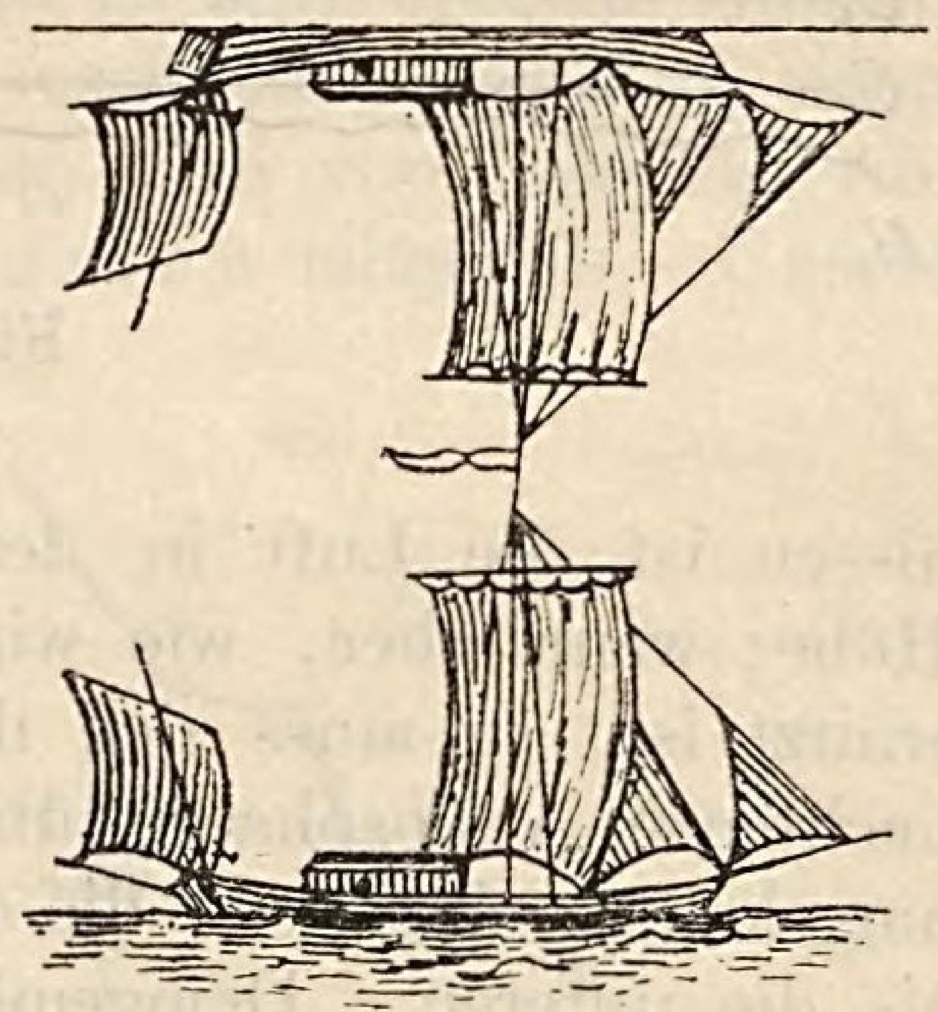


Fig. 65.

*) Eine exakte Höhenmessung haben Ceraski und Belopolsky versucht, indem sie zuerst eine ebene Standlinie und dann von deren beiden Endpunkten aus Elevationswinkel massen. Das Resultat der beiden Moskauer Gelehrten war eine senkrechte Höhe von 66 km. Jesses Verfahren ist ein anderes, es hat eine gewisse Ähnlichkeit mit jenem des Arabers Alhazen für die Bestimmung der Dicke der Atmosphäre, welches wir oben kennen gelernt haben; der Abstand der irisierenden Wolken vom Erdboden berechnete sich so auf 75 km, mit einem wahrscheinlichem Fehler von —10 km.

**) Nur ausnahmsweise thun wir noch der Licht- oder Sonnensäulen Erwähnung, die Holetschek und Busch neuerdings zu beobachten in der Lage waren. Ersterer sah eine solche Säule dreiviertel Stunden vor Sonnenaufgang am östlichen Himmel erscheinen; sie hatte die Gestalt eines sich nur langsam verjüngenden Schornsteines und war an der Basis 45 Bogenminuten breit. Busch verlegt nach seinen Höhemessungen den Sitz der Erscheinungen in eine 6500 m vom Meeresspiegel abstehende Region der Atmosphäre. Wir glauben guten Grund zu der Annahme zu haben, dass diese Sonnensäulen früher vielfach mit dem Tierkreislichte verwechselt worden sind.

***) D. met. Zeitschr., 4. Jahrgang. S. 186 ff.

†) Man nennt diese Spiegelung, von der u. a. der Polarfahrer Scoresby viel wunderbares erzählt, auch aus nahe liegendem Grunde das Seegesicht.

sich in Nichts auflösen. Eine gründliche Untersuchung dieses Phaenomenes durch J. Biot*) hat gezeigt, dass nicht sowohl eine Reflexion sondern vielmehr eine abnorme Refraktion der Lichtstrahlen die trügerischen Gestalten hervorbringt; wie, das geht aus Fig. 66 hervor. Die parallelen Linien CD ... C_6D_6 sollen die Grenzflächen einer Anzahl atmosphärischer Schichten von verschiedener Dichte darstellen; HH ist der Erdboden. Unter gewöhnlichen Verhältnissen ist die Luft in der Nähe des Bodens dichter als in grösserer Höhe; wenn aber, wie wir hier voraussetzen, die Erde aufs äusserste erhitzt ist, so muss sich ihre Wärme durch Leitung auch auf die benachbarte Atmosphaere übertragen, und so wird in unserem Falle das umgekehrte eintreten: die oberen Schichten sind von grösserer Dichtigkeit als die unteren. Demgemäss wird der einfallende Strahl vom Einfallslote weg gebrochen, und es wird, wenn man mit E, E_1 ... die Schnittpunkte des von P kommenden Lichtstrahles mit den einzelnen Grenzflächen bezeichnet, die gebrochene Linie $PEE_1E_2E_3E_4E_5$ den anfänglichen Weg des Lichtes repräsentieren. In E_5 angekommen, wird dem Strahle durch die Brechung ein Weg angewiesen, welcher CD gerade parallel ist; natürlich haben wir uns das in dieser Richtung zurückgelegte Stück E_5F_5 als unendlich klein vorzustellen, und von F_5 an nimmt der Strahl wieder seinen Weg nach oben, um über F_4, F_3, F_2, F_1, F nach dem Punkte Q zu gelangen. Der polygonale Zug $F_5F_4F_3F_2F_1F$ ist genau symmetrisch zu $E_5E_4E_3E_2E_1E$. Versetzen wir nach Q das Auge des Beschauers und denken wir uns, wie es der Wirklichkeit entspricht, die Zunahme der Dichtigkeit von unten nach oben stetig erfolgend, so geht die unstetig gekrümmte Linie PQ in eine stetige Kurve — nach Biot ist es ein Parabel — über. Damit ist nun auch klargelegt, weshalb man infolge der sogenannten Luftspiegelung von entfernten Gegenständen einzig und allein die oberen Teile sieht, von Häusern z. B. nur das Dach, von Bäumen nur die Krone u. s. w. Ist etwa HH (Fig. 67) der Erdboden,

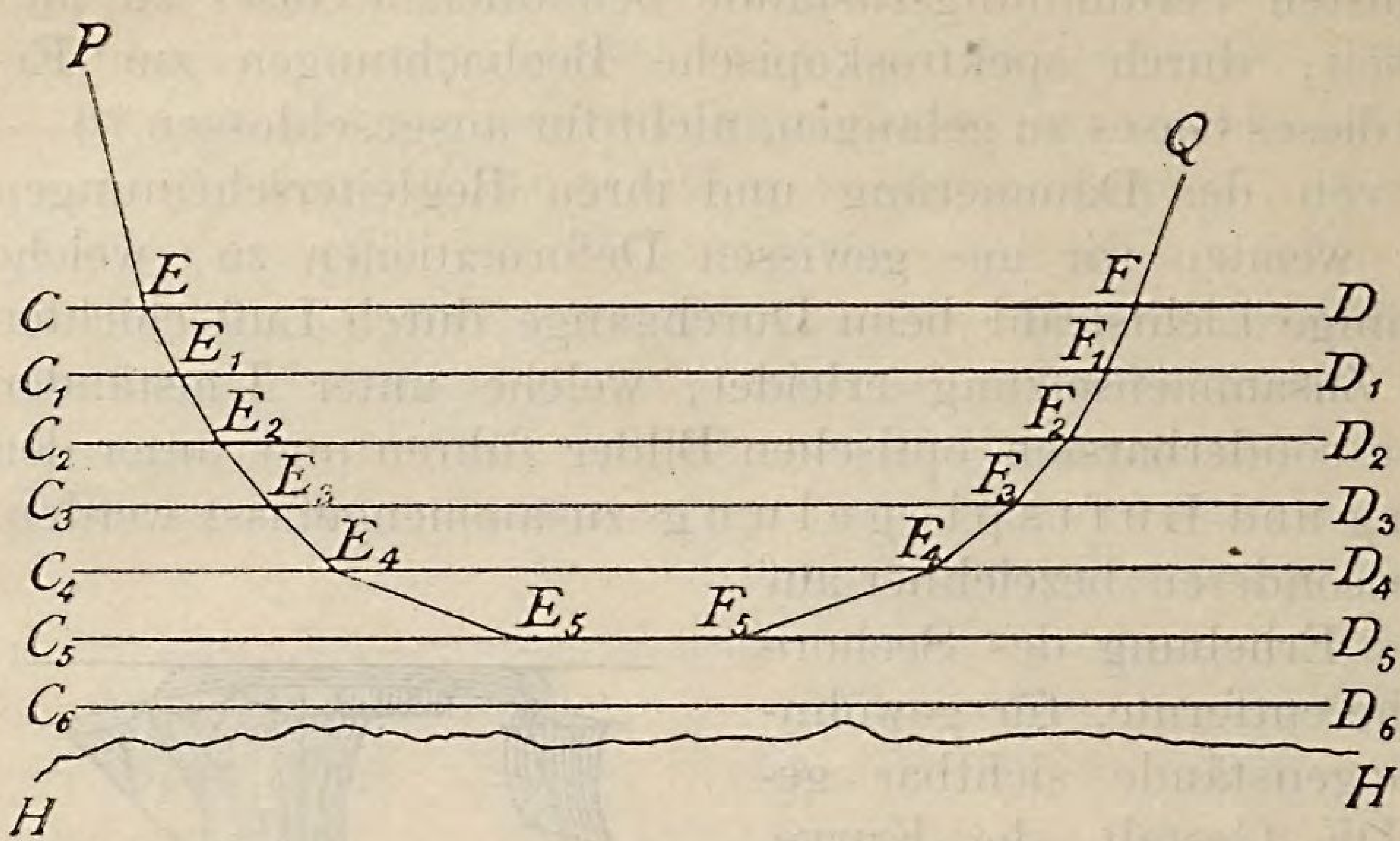


Fig. 66.

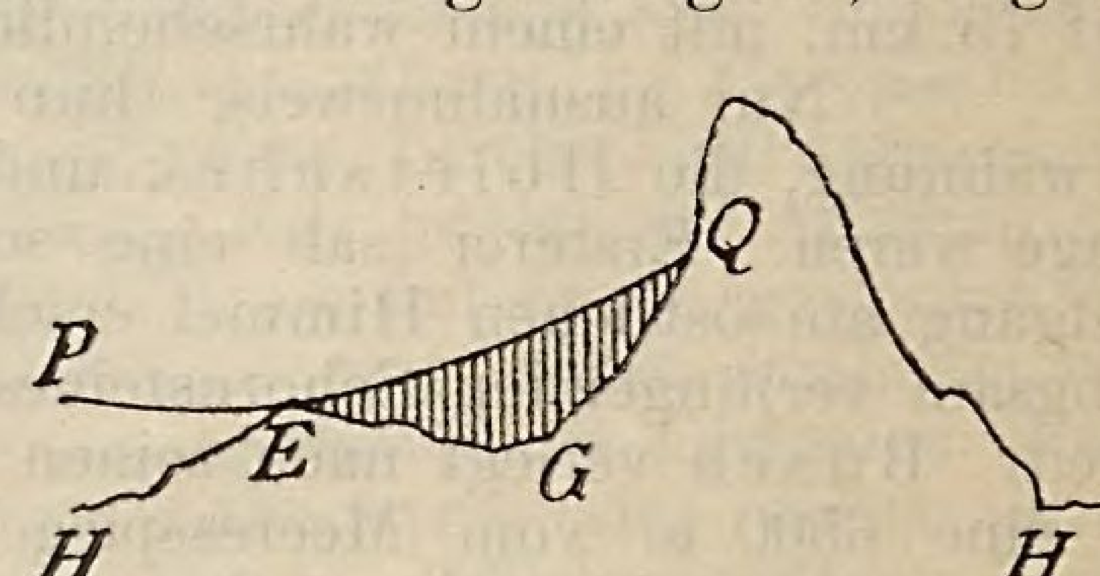


Fig. 67.

†) Biot, Recherches sur les refractions extraordinaires qui ont lieu près de l'horizon, Paris 1810.

P das beobachtende Auge, GH eine Bodenerhebung, so wird die vorhin beschriebene Parabel durch die Linie PEQ dargestellt sein, welche den Boden in E berührt und in Q den Hügel trifft. Aus keinem einzigen Punkte des mit vertikalen Schraffen versehenen Raumes EGQ wird noch Licht nach dem Auge P zu kommen vermögen, für dieses sind mithin alle unterhalb von Q gelegenen Punkte so gut wie nicht vorhanden. Jene Grenzfläche, an welcher die Lichtstrahlen zur Wiederaufwärtskrümmung gezwungen wird, hat nun ersichtlich die Eigenschaften eines ebenen Spiegels; hinter derselben erscheint in einer der wirklichen Vertikaldistanz eines Punktes genau gleichen Entfernung ein virtuelles Bild dieses Punktes, und dadurch eben wird die Täuschung, als befinde sich zwischen dem Gesichtskreise und dem Standorte des Beobachters eine grosse Wasserfläche, zu einer vollkommenen gemacht. — Zum Schlusse sei bemerkt, dass die Lage der spiegelnden resp. anomal brechenden Fläche nicht gerade notwendig eine horizontale zu sein braucht, obwohl andere Stellungen immerhin nur ausnahmsweise vorkommen werden; einen sehr schönen Fall von scheitelrechter Stellung, also von lateraler Abbildung des ursprünglichen Gegenstandes hat Jurine mitgeteilt. Unsere Fig. 68 stellt nach J. Müller*) diese auf dem Genfer See beobachtete höchst merkwürdige Erscheinung dar. —

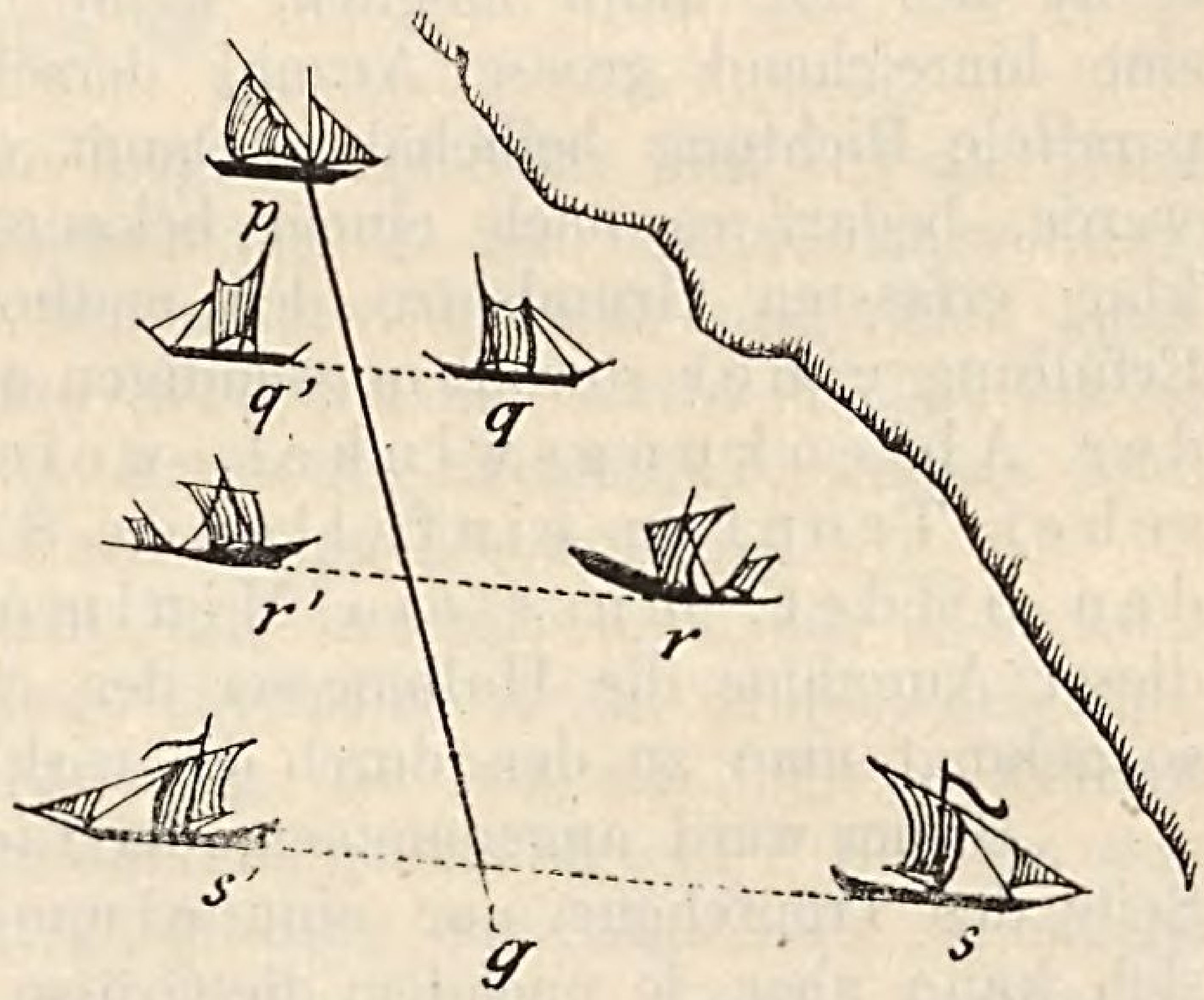


Fig. 68.

Von allen Luftbildern hat seit alten Zeiten keines die allgemeine Teilnahme in höherem Masse erregt als der bekannte Regenbogen (Iris, arc-en-ciel, rainbow). Wenn die Luft stark mit Feuchtigkeit durchsetzt ist, in der Regel also während eines heftigen Regens oder gleich nach dessen Aufhören, erblickt man in der Luft einen aus mehreren konzentrischen Bogen sich zusammensetzenden Farbenring, und bald überzeugt man sich auch, dass der Mittelpunkt dieses Ringes mit dem Mittelpunkte der Sonne durch eine das beobachtende Auge in sich schliessende grade Linie verbunden ist. Je tiefer sonach die Sonne steht, einen umso grösseren Teil der Kreisperipherie umfasst der Regenbogen; im Momente des Sonnenunterganges ist jener genau einem Halbkreise gleich. Man unterscheidet deutlich die sogenannten sieben Regenbogenfarben rot, orange, gelb, grün, blau, indigo, violett, so zwar, dass die stärkst brechbaren Farbenstrahlen den inneren, die wenigst brechbaren den äusseren Rand des Bogens bilden. Dass dieses Phaenomen mit der Zurückwerfung der Strahlen zusammenhänge, wusste bereits Aristoteles, allein das Zustandekommen der Farben wusste er sich nicht zu erklären, und obwohl im XIV., XVI. und XVII.

*) Müller, Lehrbuch d. kosm. Physik, S. 379.

Säkulum der Mönch Theodorich, Fleischer, De Dominis und der berühmte Cartesius durch ihre Erklärungsversuche sich der Wahrheit mehr und mehr näherten, *) so blieb es doch Isaak Newton vorbehalten, auf diesem wie auf so manchem anderem Gebiete die volle Wahrheit zu erkennen. Seitdem ist es bekannt, dass der Regenbogen durch zweimalige Brechung und einmalige Zurückwerfung des einfallenden Strahles an der Innenfläche der die Regenwand bildenden Wassertröpfchen entsteht. Der Brechungswinkel ist für verschieden gefärbte Strahlen natürlich ein verschiedener, sonach ist auch der Gang der Lichtstrahlen für die einzelnen den ursprünglich weissen Strahl zusammensetzenden Komponenten nicht einundderselbe. Es fragt sich nur noch, weshalb denn, da ja doch die Ausdehnung der Regenwand meistenteils eine ziemlich beträchtliche ist, nur eine so schmale Zone derselben gefärbt erscheint. An dieser Frage hatten früher sämtliche Erklärer Schiffbruch gelitten; Newton aber erledigte sie in äusserst einfacher Weise. Allerdings, so sagt er, wiederholt sich der gleiche Vorgang in jedem einzelnen Tropfen, allein die ausfahrenden Strahlen vermögen, divergent wie sie sind, auf die Netzhaut unseres Auges keinen Eindruck zu machen, und es ist dies nur dann möglich, wenn nach dem Austritte der Strahlen eine hinreichend grosse Anzahl derselben eine ganz oder annähernd parallele Richtung beibehält. Damit ein solcher Parallelismus erreicht werde, bedarf es nach einem bekannten, eben von Newton zuerst klar erfassten Grundsatze der mathematischen Naturwissenschaft der Erfüllung einer sowohl notwendigen als auch hinreichenden Bedingung: der Ablenkungswinkel, welchen der in den sphaerischen Tropfen einfallende Strahl mit dem austretenden bildet, muss ein Minimum sein. Berechnet man unter dieser Annahme die Halbmesser der einzelnen Farbenkreise theoretisch, so gelangt man zu den durch die wirkliche Messung gelieferten Werten.

Bisher ward angenommen, der Lichtstrahl erleide an der konkaven Seite des Tröpfchens nur eine einmalige Spiegelung; an und für sich kann aber, je nachdem die Grösse des Einfallswinkels variiert, diese Spiegelung eine zweimalige, dreimalige u. s. w. sein; für jeden Fall wird der den Strahlen einer besonderen Farbe entsprechende Ablenkungswinkel auch wieder sein besonderes Minimum besitzen, und es kann somit, rein geometrisch gesprochen, keinem Zweifel unterliegen, dass stets die Anzahl der Regenbogen eine unbegrenzte ist. Je öfter das Licht jedoch zurückgeworfen wird, umso mehr geht ihm an Stärke verloren, und so kommt es, dass nur der zweite Regenbogen deutlich sichtbar bleibt, während schon der dritte Regenbogen nur unter ganz besonders günstigen Umständen in die Erscheinung tritt, **) die Bogen höherer Ordnung aber nun und nimmer

*) Eine entsprechende Erörterung der historischen Hauptmomente bringt Reclams „Geschichte der Theorie des Regenbogens“ (Gaea, 14. Jahrg. S. 461 ff.).

**) Es lag bis vor kurzem für den dritten Bogen nur die einzige vor hundert und mehr Jahren gemachte Beobachtung T. Bergmans vor, die man fast als auf einer Täuschung beruhend zu betrachten sich versucht fühlen mochte. Da hat denn 1879 Heilermann sich durch die detaillierte Mitteilung

eine für die Sichtbarkeit ausreichende Lichtintensität erreichen können. Der zweite Bogen zeigt sich dagegen fast jedesmal oberhalb des ersten, und zwar folgen sich in ihm, wie es die Theorie erfordert, die Farben in einer Reihe, welche die umgekehrte von der für den Hauptbogen massgebenden ist; Rot ist innen, Violett aussen. In Fig. 69 sehen wir

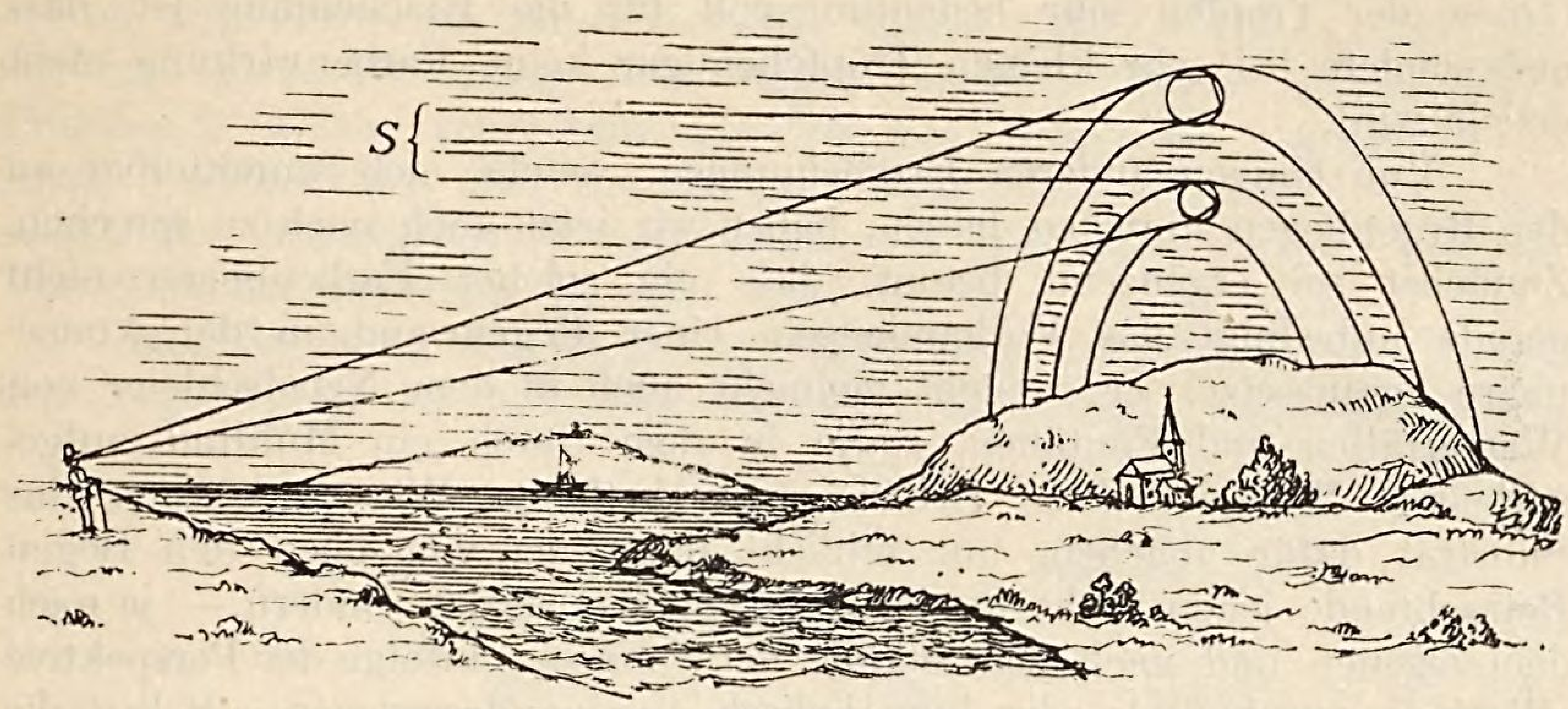


Fig. 69.

die beiden Regenbogen vor unseren Augen entstehen; zwei von der Sonne S ausgesandte Parallelstrahlen durchlaufen in der beschriebenen Weise der eine den oberen, der andere den unteren Tropfen und rufen beidemale im Auge des Beobachters den Eindruck der Farbe Violett hervor. Die horizontale Augenlinie wäre die Achse des Kreiskegels, welcher durch das Auge und irgend einen der Farbenringe bestimmt ist.**)

Ein Kriterium für die Richtigkeit unserer, d. h. der Newtonschen Deutung der Erscheinung liegt ersichtlich in der Möglichkeit einer experimentellen Nachbildung der letzteren. Diese Vermutung hatte vor bald siebenhundert Jahren bereits Roger Bacon ausgesprochen; Ernst wurde mit der Ausführung des Gedankens in neuerer Zeit gemacht von Bravais und Hammerl. Durch sogenannte

und Besprechung einer ihm vortrefflich geglückten Beobachtung dieser seltenen Naturerscheinung sich ein wirkliches Verdienst erworben. Wahrscheinlich hat mancher, der nach jener ausspähte, sie nicht am richtigen Orte gesucht; weil nämlich der Ablenkungswinkel für die Strahlen, die den dritten Regenbogen bilden, zwischen 318° und 323° schwankt, liegt jener der Sonne verhältnismässig nahe und nicht auf der ihr entgegengesetzten Seite des Himmels.

**) Wenn man ganz strenge verfahren wollte, müsste man das in Fig. 69 dargestellte Bild ausschliessen, denn dasselbe gibt den Regenbogen als etwas objektiv vorhandenes wieder, und das ist unrichtig: jeder einzelne sieht nur seinen eigenen Regenbogen und keinen anderen. Somit ist auch die Möglichkeit einer perspektivischen Abbildung ausgeschlossen, doch scheint die naheliegende Fiktion erlaubt, von welcher oben ausgegangen wurde. Unter diesen Umständen schienen die Angaben von Sabine und Tyndall, man habe einen Regenbogen sich im Wasser spiegeln gesehen, einen Widerspruch zu enthalten; dass aber gleichwohl im gewissen Sinne dergleichen vorkommen kann, haben Dufour und Handel nachgewiesen; vgl. des letzteren Schrift: „Zur Theorie der Spiegelung des Regenbogens an einer ruhigen Wasserfläche" (Reichenbach i. Schl. 1887).

„Stäuber“ erzeugte man im Experimentierlokale künstliche Regenwände an blosses Wasser war man dabei selbstverständlich nicht gebunden sondern man konnte irgendwelche Chemikalien verwenden. Die Messung des Ablenkungswinkels besorgte in einfachster Weise der Theodolit. Auch Tyndall hat grossartige Versuche mit zerstäubtem Terpentin und Petroleum gemacht*) und dabei den Nachweis geführt, dass die Grösse der Tropfen sehr bedeutungsvoll für die Erscheinung ist, dass insbesondere bei sehr kleinen Tröpfchen gar keine Farbenwirkung mehr erzielt wird.

Von einigen anderen Erscheinungen, welche sich unmittelbar an den Regenbogen anreihen lassen, haben wir jetzt auch noch zu sprechen. Zunächst sei ergänzend betont, dass ein solcher Farbenbogen nicht gerade unbedingt das Vorhandensein einer Regenwand in der Atmosphäre voraussetzt; er entsteht vielmehr auch in dem Nebelschleier von Wasserfällen und Fontänen, sowie in dem durch ein Mühlrad aufgewirbelten Wasserstaube. Selbst stark bethaute Wiesen können das Substrat dafür abgeben, nur erblickt dann der von oben den Bogen Betrachtende jenen nicht in der üblichen Kreisform, sondern — je nach dem eigenen und nach dem Stande der Sonne — infolge der Perspektive elliptisch, parabolisch oder hyperbolisch auseinandergezogen. Selbst die Sonne ist nicht allein Erzeugerin von Regenbogen; vielmehr sieht man gar nicht so sehr selten prächtige Mondregenbogen, wie deren einer im zweiten Akte (2. Szene) von „Wilhelm Tell“ treffend beschrieben ist. Natürlich ist ein solcher Nachtregenbogen immer lichtschwach, und obwohl mitunter sowohl die Farbenreihe als auch der zweite Bogen ganz gut unterschieden werden können, muss man sich doch gewöhnlich mit dem Anblicke des verwaschenen Hauptbogens begnügen. Im Hochgebirge sieht der Wanderer oftmals auf einer die Stelle der Regenwand vertretenden Nebelschicht einen hell glänzenden Bogen entstehen, welchen man füglich als Nebelbogen oder weissen Regenbogen bezeichnen kann, indem für ihn die Färbung nicht etwa blos schwach angedeutet, sondern überhaupt nicht vorhanden ist. Die Gründe der Farbenauslöschung haben bis in unsere Tage herein den Gegenstand lebhafter Diskussion abgegeben; eine zeitlang behauptete Bravais das Feld mit der Lehre, dass beim Durchgange des Lichtes durch hohle Bläschen mit hinreichend dicken Wänden ein farbloser Ring entstehen müsse, allein da man sich gegenwärtig überzeugt hält, dass solche hohle Bläschen höchstens ausnahmsweise, für gewöhnlich aber nur massive Wasserkügelchen in der Luft schweben,**) so nimmt man mit Tyndall (s. o.) lieber an, dass zwischen farbigem und farblosem Regenbogen kein prinzipieller Unterschied bestehe, und dass aus dem ersteren der letztere dann werde, wenn der Durchmesser der Tropfen unter eine gewisse Grenze herabsinkt. Man begreift dann auch sofort, wieso auf den aus winzigen Kügelchen gebildeten Nebelbänken der Bogen immer nur weiss erscheint. — Eine immer noch nicht aufgeklärte Erscheinung haben

*) Philosophical Magazine, 1884. S. 61 ff. S. 148 ff.

**) Für obige Behauptung spricht auch eine Reihe geometrischer Betrachtungen, welche F. Roth über die Divergenz eines Parallelstrahlenbündels beim Wiederaustritte aus einer durchlaufenen Kugel angestellt hat.

wir in den überzähligen Regenbogen vor uns, die man auch sekundäre oder komplementäre nennt; jenseits des Violett, mit welchem doch unserer Theorie gemäss der Farbenbogen seinen Abschluss finden sollte, sieht man hie und da noch weitere gefärbte Ringe auftreten, die gewöhnlich nur wenige Bogengrade umfassen, die sich aber gelegentlich auch — Bravais hat einen solchen Fall angemerkt — bis zum Horizonte herab verfolgen lassen. Airy gab eine Analyse der zum Zustandekommen dieser komplementären Bogen erforderlichen Prozesse,*) welche sehr wahrscheinlich den Thatsachen entspricht, zu ihrem Verständnisse aber eine zu gründliche Vertrautheit mit den Lehrsätzen der höheren Optik voraussetzt, als dass uns hier ein längeres Verweilen bei derselben gestattet wäre. —

Auf Brechung und Reflexion der Lichtstrahlen ist es, ebenso wie den Regenbogen, so auch alle diejenigen Phaenomene zurückzuführen

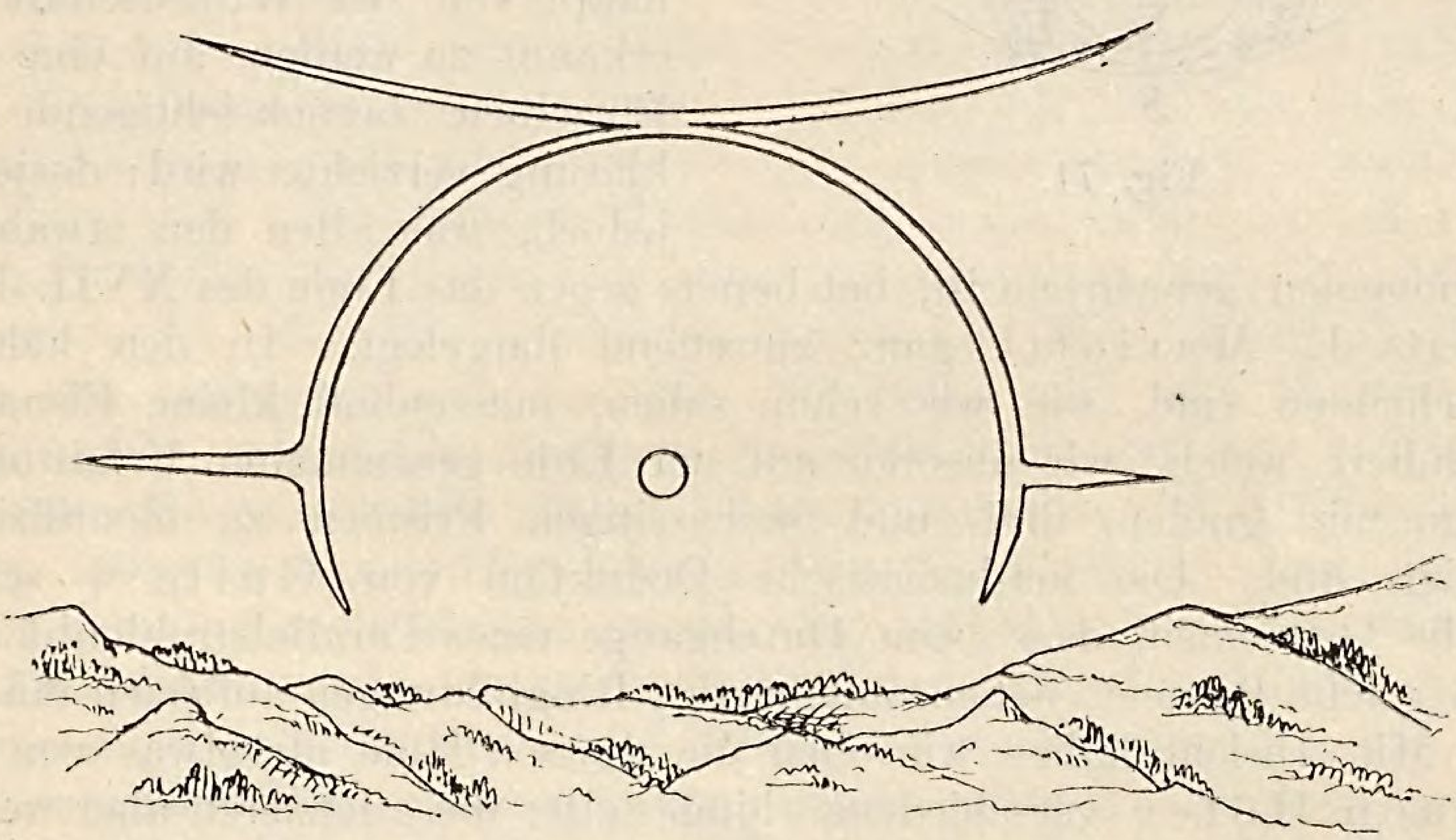


Fig. 70.

gelungen, welche man als grosse Höfe um Sonne und Mond (ἅλως), als Ringe, Kränze, Nebensonnen und Nebenmonde bezeichnen hört. Die grossen Höfe sind Lichtringe, von welchen wir die heller leuchtenden Himmelskörper ab und zu umgeben sehen; es treten auch radiale und tangentiale Fortsätze, intermediäre Bogen, farblose und farbige Beikreise**) in allen möglichen Kombinationen hinzu. Ein Beispiel, wie es wohl jeder der Leser in der Erinnerung hat, führt uns Fig. 70 vor, ein zweites von der denkbarst komplizierten

*) Transactions of the Cambridge Society of Sciences, Vol. VI. S. 379 ff. Eine vortreffliche Überarbeitung des Airyschen Aufsatzes, der übrigens direkt an gewisse Ansichten Thomas Youngs, dieses Mitbegründers der Vibrationstheorie, anknüpft, findet man in der früher zitierten Abhandlung von Clausius (S. 433 ff.).

**) Es sind auch Fälle bekannt, in denen sich die Kreise in Ellipsen verwandelt zeigten. Zuerst vielleicht erwähnen der älteste Cassini und Newton eines solchen Vorkommnisses; ein elliptischer Sonnenhof ist ferner von Thirion zu Loewen im Mai 1886 beobachtet worden. Die Ursache dieser Anomalie harrt noch der Interpretation.

Art Fig. 71.*) Bei letzterer stellt der Kreis NOSW den bereits mit den nötigen Orientierungspunkten versehenen Horizont, Z das Zenit, P den Nordpol der Ekliptik, Σ den Kulminationspunkt der wirklichen Sonne, Σ_1, Σ_2, Σ_3, Σ_4, Σ_5, Σ_6 je eine der sechs Nebensonnen dar; die Kreisringe hat man sich durchaus weiss, nur die beiden schraffierten regenbogenartig gefärbt zu denken. Es bedarf der Versicherung kaum, dass solchen abenteuerlichen Luftbildern gegenüber, deren Beschreibung von sehr glaubwürdigen Leuten herrühren muss, um überhaupt von der Wissenschaft anerkannt zu werden, auf eine jede Einzelheit berücksichtigende Erklärung verzichtet wird; dasjenige jedoch, was allen den erwähnten Phaenomenen gemeinsam ist, hat bereits gegen das Ende des XVII. Jahrhunderts E. Mariotte ganz zutreffend dargelegt. In den höheren Luftschichten sind, wie wir schon sahen, massenhaft kleine Eisnadeln suspendiert, welche wir unseren auf der Erde gesammelten Erfahrungen zufolge mit graden, drei- und sechsseitigen Prismen zu identifizieren genötigt sind. Die mathematische Deduktion von Galle**) schafft uns die Gewissheit, dass beim Durchgange eines Parallelstrahlenbündels durch solche Prismen nebensonnenartige Ringbildungen auftreten müssen.

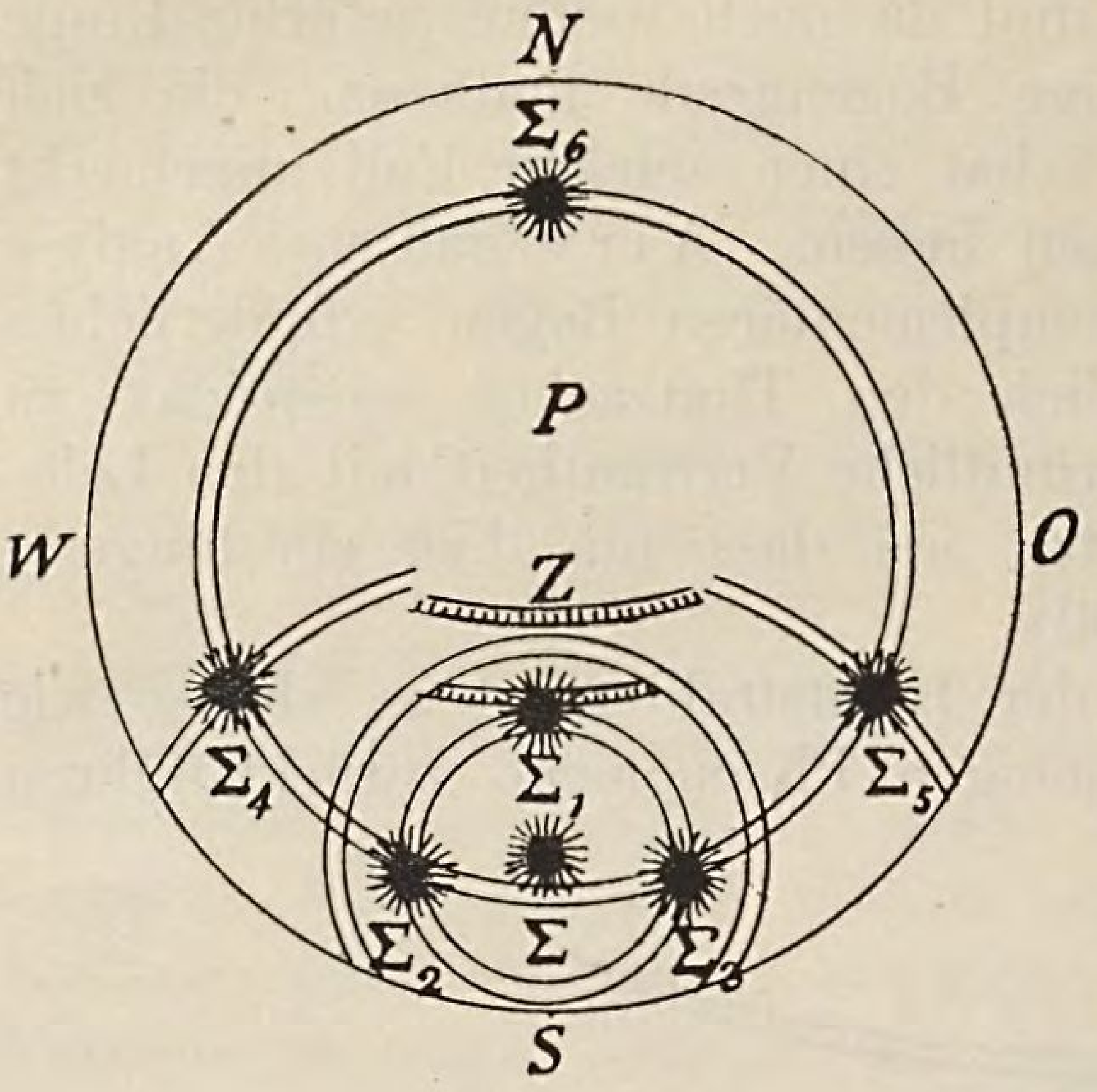


Fig. 71.

Mit Absicht haben wir oben die grossen Höfe als etwas von den kleinen Höfen verschiedenes hingestellt; diese letzteren aber werden gewöhnlich gemeint, wenn es im Volksmunde heisst, „der Mond habe einen Hof“.***) Man versteht hierunter einen diffusen, den leuchtenden Körper umflutenden Lichtschein, der nicht ohne eine gewisse Berechtigung für ein ungünstiges Wettervorzeichen ausgegeben wird. Man kann sich das Wesen eines solchen Hofes leicht dadurch verdeutlichen, dass

*) Derartiger ausgeschmückter Halos-Phaenomene sind in der Litteratur nur vier urkundlich bezeugt, nämlich das Balinger Phaenomen, beschrieben von einem damals in Württemberg sich aufhaltendem Magister Brotbeyel 1541, das Römische Phaenomen von 1629, dessen Augenzeuge der als Optiker bekannte Jesuit Scheiner war, das Danziger Phaenomen von 1661, welches nach Hevels Erzählung auf eine Anzahl ähnlicher aber minder grossartiger Erscheinungen folgte, und das Petersburger Phaenomen, worüber ein authentischer und umfassender Bericht des Akademikers Lowitz vorliegt (Déscription d'un météore remarquable observé à St. Petersbourg, ebenda 1794). Das letztgenannte ist es, welchem unsere obige Zeichnung entsprechen soll. Auch der Nordpolfahrer Greely berichtet von einer ähnlichen Erscheinung.

**) Ann. d. Phys. u. Chem., 49. Band. S. 310 ff.

***) Die nicht ganz glückliche Terminologie der Höfe rührt von Fraunhofer her und ward wohl deshalb noch nicht verlassen, weil man diesem genialem Manne die erste erschöpfende Arbeit über den Gegenstand (Schumachers astronomische Abhandlungen, 3. Heft) verdankt.

man eine dünne Glasplatte mit Bärlappsamen bestreut und sodann durch die Platte hindurch nach einer Flamme blickt. Das eigenartige Farbenspiel, das sehr häufig im Hofe bemerkt wird, hat die unverkennbarste Ähnlichkeit mit jenem, welches ein dünnes Blättchen in durchgelassenem Lichte, oder welches der Bart einer Vogelfeder, gegen eine Lichtquelle gehalten, erkennen lässt, und auch die von Kiessling (s. o.) so genau studierten Dämmerungserscheinungen bieten eine vollkommene Analogie dar. An den in der Luft schwebenden Dunstkügelchen werden eben die Lichtstrahlen gebeugt, von ihrer eigentlichen Richtung abgelenkt, und es entstehen die bekannten Interferenzen. Solange die Durchmesser der kleinen Kugeln ganz oder doch fast ganz von gleicher Grösse sind, treten die Farben deutlich hervor; wenn aber diese Bedingung nicht erfüllt ist, so tritt eine Übereinanderlagerung der einzelnen Farbenringe ein, und die Mischfarbe ist eben das unsichere Weiss, in welchem die farbenlosen Höfe schimmern. Die Frage, ob die Kugeln, welche die Diffraktion veranlassen, hohl oder massiv seien, ist für das Phaenomen der Höfe nicht von der ihr sonst innewohnenden Bedeutung.

Sehr nahe verwandt mit den grossen Höfen sind die sogenannten Nebelbilder,*) welchen wir als nur im äusseren Bilde verschiedene, sachlich aber gleichwertige Erscheinungen die Nebelringe oder Zirkel Ulloas,**) das Brockengespenst und den Heiligenschein oder Thaukranz zurechnen. Ein solches Nebelbild setzt sich zusammen aus dem von der Sonne auf eine Wolken- oder Nebelschicht geworfenen Schatten des Beobachters und aus — meist — gefärbten Ringen, welche diesen Schatten umgeben. Was letzteren anlangt, so ist er eine völlig objektive Erscheinung. Den Kopf erblickt man immer in der zu erwartenden natürlichen Grösse, die Gliedmassen dagegen werden, wenn die Projektionsstrahlen mit der auffangenden Fläche einen einigermassen schiefen Winkel einschliessen, gar nicht selten aufs ungeheuerlichste verzerrt, vergrössert, wodurch eben ein gewisser gespenstischer Eindruck hervorgerufen werden kann. Bei Harzreisen wurde die Erscheinung in Deutschland zufällig zuerst gesehen und näher beschrieben, und daher hat sie auch den obigen Namen. Was die Farbenringe anbetrifft, so werden diese blos subjektiv wahrgenommen; man nimmt gewöhnlich deren drei wahr, welche nach Heims Messungen einen scheinbaren Halbmesser von 3^0, $5^1/_2{}^0$ und $8^1/_2{}^0$ haben. Zu diesen homozentrisch liegt dann in vielen Fällen noch ein viel grösserer Ring von 33^0 bis 41^0 innerem Radius, der meist nur schwache Färbung und Lichtstärke hat, ja in vielen Hinsichten einem Mondregenbogen ähnelt. Die absolute Grösse der Ringdurchmesser pflegt der Entfernung des Auges von der Nebelwand ungefähr proportional zu sein. Der Hauptfarbenring ist keine Beugungserscheinung im Sinne der kleinen Höfe, sondern ein Regenbogen, dessen Farben durch Brech-

*) Gründliche Belehrung über diese Phaenomene gewähren, insonderheit auch der gelungenen Illustrationen halber, ein Aufsatz von A. Heim „Über Nebelbilder" im 14. Jahrgang des schweizerischen Alpenklubs (S. 406 ff.) und Fugger-Czernys Salzburger Oberrealschul-Programm von 1887, betitelt „Vier subjektive Lichterscheinungen".

**) Der Astronom Don Antonio de Ulloa (1716—1795) war einer der Ersten, denen diese Erscheinungen auffielen.

ung und innere Zurückwerfung entstanden zu denken sind. Versuche, die Nebelbilder stereoskopisch zu photographieren, sind bislang misslungen.

Gerade für den Farbenkranz, welcher den Kopfschatten eines auf bethauten Wiesen dahinwandernden Menschen — freilich nur bei sehr günstigem Stande der Sonne — umgibt, hatte Lommel schon früher die richtige Erklärung gegeben. Jeder Thautropfen, ganz unverhältnismässig besser als der grössere Regentropfen, erzeugt auf seinem Blatte oder Grashalme ein Bildchen sowohl der Sonne als auch der Pupille des Beobachters, und je näher die Tropfen dem Umrisse des Schattens liegen, umso vollkommener fallen beide Bilder zusammen. Diese Thauperlen geben in ihrer Gesamtheit den blendenden Lichtschein, während die entfernteren Tröpfchen dunkel bleiben; die Färbung wird durch mehrmalige Brechung und einmalige Reflexion bewirkt. Wenn der Lichtschein den auf eine trockene Unterlage fallenden Schatten umspielt, dann liegt der Fall anders, dann handelt es sich, wie schon v. Winterfeld konstatierte, um eine einfache Kontrastwirkung. —

Hiemit glauben wir die Aufzählung und sachliche Erörterung aller wichtigen Lichterscheinungen in der Atmosphaere zum Abschlusse gebracht zu haben.

BAYERISCHE STAATS-BIBLIOTHEK MUENCHEN

Namen-Index.

Abercromby 146, 269.
Abich 30, 115.
Abney 23, 170, 171.
Adam 156.
Adhémar 196.
Agassiz 28.
Airy 293.
Aitken 16, 20, 182.
Albertus Magnus 2.
Alhazen (Ibn Haitham) 11, 279, 287.
Alkhazîni 31.
Alluard 283.
Amontons 32.
Amsler 73.
Amstein 49.
Anaxagoras 79.
Anderlind 193.
Andries 89, 103, 107, 114, 134, 147.
Angot 168.
Angström 278.
Arago 107, 119, 276.
Aratus 2.
Archibald 66, 123.
Arcimi 285.
Aristoteles 1, 2, 42, 113, 289.
Armstrong 101.
Arnell 164.
Askenasy 166.
Assmann 9, 16, 17, 54, 59, 64, 65, 94, 188, 243.
v. Asten 11.
Atkinson 163.
Attlmayr 148.
Aubin 14.
August 54, 55.
Augustin 128, 160.

Babinet 278, 286.
Bacon (Francis) 5.
Bacon (Roger) 291.
v. Baer 236.
Balfour Stewart 124.
Baliani 120.
Banks 203.
v. Bauernfeind 19, 50, 51, 270, 271, 272.
Baurmeister 113.
Baxendell 122.
Beaufort 66, 67, 160, 243, 247, 254, 256.
Beausoy 63.
van Bebber 8, 24, 46, 112, 117, 119, 121, 123, 138, 228, 237, 239, 242, 243, 249, 251, 252, 253, 254, 255, 257, 258, 259, 260, 262, 263, 264, 265.
Beccaria 100.
Bell 214.
Bellani 36, 266.
Belopolsky 287.
Benecke 156, 158.
Berger 83.
Berghaus 177.
Bergmann 286, 290.
v. Bermann 137.
Berndt 94.
Bernoulli (Jakob) 22.
Bernoulli (Johann) 281.
Bert 183.
Berzelius 164.
Bessel 33, 72, 116.
Bessels 46, 99, 234.
Beudant 109.
v. Bezold 8, 9, 56, 71, 85, 92, 107, 111, 112, 122, 139, 152, 264, 281.
Biermann 223, 587.
Billwiller, 8, 82, 97, 143, 245, 260.
Biot 288.
Bischof 41.
Bishop 285, 286.
Blanford 81, 115, 122, 188, 209, 241.
Blink 212.
Blochmann 163.
Blytt 198,
Boecker 261.
Boekmann 5.
Boernstein 59, 113, 144, 148.
Bonnet 14.
Borius 206.
Bouguer 63, 66, 271.
Bourdon 46, 47.
Boussingault 13, 157, 172.
Bouvard (A. u. E.) 117.
Boyle 18, 45.
Bradley 270.

Brahe (Tycho) 2, 269.
Brandes 4, 8, 16, 85, 251.
v. Brandis 188.
Bravais 45, 291, 292, 293.
Brewster 278.
Brito Capello 241.
Brocard 241.
Brotbeyel 294.
Brounow 139.
Bruhns 158, 242, 270.
Bruns 10.
v. Buch 5, 6, 76, 76.
Buchner 204.
Büttikofer 256.
Buff 83.
Bunsen 173.
Bunten 36.
Burmeister 220.
Busch 278, 286. 287.
Busin 142.
Buys-Ballot 8, 9, 85, 96, 123, 130, 131, 240, 248, 251, 252, 261, 265, 266.

Caesar (Julius) 175.
Cailletet 15.
Campbell 159.
Canton 100.
Cantoni 60, 67.
Capron 238.
Cartesius (Descartes) 73, 270, 290.
Casella 37.
Castelli 31.
Cato 2.
Cecco d'Ascoli 30.
Celsius 33.
Celsus 202.
Ceraski 287.
Chacornac 240.
Cappe 251.
Chiminello 3.
Christiansen 172.
Cicero 175.
Clarke 209.
Clausius 173, 275, 277, 280, 293.
Clayton 123.
Cleveland Abbe 240.
Cloué 136.
Cochlaeus 1.
Coffin 85, 128.
Colladon 101. 104.
Columella 2.
Cook (Astrolog) 3.
Cook (Weltumsegler) 106, 116, 203.
Coppernicus 10.
Cornelius 117.
Cornu 278, 286.
Coulomb 99.
Croll 196.
Crova 34, 69, 170.
Cumbary 241.
Cusa 31, 52.
Czerny 295.
Czerny v. Schwarzenberg 124, 185.

D'Abbadie 16, 52.
D'Alembert 77.
Dall 196.
Dalton 163.
Dampier 80.
v. Dankelman, 81, 113, 207.
Daniell 33, 54, 234.
D'Arrest 281.
Darwin 235.
D'Avezac 64.
Dawson 124.
De Candolle 166.
Dechevrens 37, 79, 131.
De Dominis 290.
De la Rive 12.
Delcros 30, 45.
Delisle 33.
Dellmann 99.
Deluc 33, 50, 53.
Demosthenes 81.
Denham 208.
Depretz 18.
Desor 84, 96, 157, 158.
De Witt 73.
Dikaearch 225.
Dines 58, 91.
Dinklage 242.
Discher 99.
Dohrandt 67.
Dorn 41.
Dorta 213.
Dove 6, 7, 72, 76, 83, 84, 86, 127, 128, 129, 136, 141, 151, 174, 224, 228, 234, 243, 248.
Draenert 213.
Dreisbach 286.
Drude 166, 198.
Dutton 188, 232.
Dufour (Ch.) 49, 97, 99, 103, 156, 162, 196.
Dufour (L.) 98, 291.
Duhamel 165.
Dulong 45.
Dumas 13.
Duponchel 124.

Ebermayer 61, 192, 194.
Edlund 102.
Ehrenberg 16, 98.
Eisenlohr 117.
Ekholm 23.
Ellinger 4.
Elliot 118.
Elster 104.
Emin Pascha (Schnitzer) 208.
Engelmann 27.
Engler (Chemiker) 15.
Engler (Botaniker) 166.

Encke 11.
Erk 71, 74, 94, 98, 152.
Erman 120, 231.
Ernst 44.
Escalante de Mendoza 248.
Escher v. d. Linth 84, 96.
Espy 8, 96.
Euler 102.
Ewall 135.
Exner 105, 272, 273.

Fahrenheit 32.
Falb 118.
Famintzin 156.
Fankhauser 165.
Faraday 32, 103, 104.
Faye 97.
Fellberg 141.
Ferrari (Ciro) 8, 104, 110, 111, 112, 186, 224.
Ferrel 8, 88, 114, 129, 130, 131, 132, 133, 141, 171, 217.
Festing 170, 171.
Filopanti 117.
Finley 133, 263.
Finsch 212.
Fischer (E.) 208.
Fischer (H.) 189, 225.
Fischer (Th.) 195, 198.
Fitzroy 240, 252.
Flegel 204.
Fleischer 290.
Floegel 13.
v. Fodor 14.
Foerster 125.
Forbes 175, 176, 177.
Forel 162.
Forster (Physiker) 60.
Forster (Weltreisender) 106.
Fortin 44, 46.
Franklin 66, 90, 105, 106, 108.
Frantzius 214.
Fraunhofer 294.
v. Freeden 242.
Frerichs 15.
Frischauf 51.
v. Friesenhof 118.
Frisiani 260.
Frisi 117.
Fritz 111, 116, 121, 123, 124.
Froelich 60, 70. 170.
Fuchs 49.
Fuess 44, 62, 64, 65.
Fugger 295.
Funck 276, 280.

Galilei 17, 18, 31, 32, 42, 120.
Galle 58, 294.
Galton 8, 85.
Gauss 102, 239, 244.
Gautier 121.
Gay Lussac 18, 32, 102.
Geitel 104.
Gelcich 250.
Gerland (E.) 53, 103.
Gerland (G.) 212.
Giffard 96.
Gilbert 263.
Gintl 52.
Giraldus Cambrensis 2.
Gladstone 278.
Glaisher 91, 171.
Gmelin 180.
Goldschmidt 46.
Gorceix 199.
Gould 123, 125.
Grisebach 166.
v. d. Groeben 124.
Grossmann 182.
Grube 211.
Grunert 22, 275.
Gümbel 109.
Günther 285.
v. Guericke 45, 96, 105.
Guldberg 88.
Gutwasser 122.

Hachette 109.
Hadley 5, 127.
Hallström 153.
Haenke 164.
Hagström 23.
Hahn 121.
Hales 33, 41.
Hall 46, 99, 234.
Halley 6, 50, 168.
Hamberger 4.
Hammerl 291.
Handel 291.
Hann 8, 82, 94, 96, 97, 126, 128, 134, 151, 152, 154, 157, 159, 160, 161, 163, 173, 174, 176, 177, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 189, 195, 199, 200, 202, 206, 208, 209, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 222, 226, 227, 228, 229, 230, 232, 233, 235, 245, 267, 284.
Hansteen 102, 121, 180.
Harries 137.
Harrington 95.
Hartl 272.
Hassenfratz 272.
Haughton 168.
Hausburg 264.
Hayes 235.
Hazen 35, 171.
Hébert 97.
Hedinger 190.
Heer 165.
Heilermann 290.
Heim 98, 290.

Hellmann 8, 9, 59, 152, 224, 228, 238, 243, 245, 280.
Helmert 11.
v. Helmholtz (H.) 96.
v. Helmholtz (R.) 182.
Hemmer 4, 71.
Hempel 163.
Henderson 220.
Hennert 270.
Herrmann 36.
Herodot 79, 231.
Heron 17, 42.
Herschel 68.
Hertz 5, 92.
Hesiod 2.
Hettner 219.
Hevel 294.
Hildebrandsson 8, 90, 112, 131, 132, 138, 154, 156, 164, 257.
Hill 124, 209.
Hipp 39.
Hippokrates 1, 202, 216.
Hirn 30, 134.
Hirsch 202,
v. Hochstetter 195.
Hoeltschl 46.
Hoffmann 165, 166, 167.
Hoffmeyer 8, 81, 95, 226, 241, 254, 259, 262.
Hoh 109.
Holetschek 287.
Hollmann 284.
Holmes 213.
Holtz 90, 101.
Honsell 242.
Hooke 56, 272.
Hoppe 100, 101, 103, 112.
Horn 186, 263.
Hornstein 122, 123.
Horsburgh 126.
Howard 24.
Hult 164, 166, 167.
v. Humboldt 4, 5, 6, 24, 31, 103, 106 116, 175, 177, 183, 274, 275.
Hunter 123.
Hutton 54.
Huygens 47.

Janssen 189. 278.
Ibañez 244.
Jesse 23, 86, 287.
Jevons 58, 124.
Ihne 164.
Ingenhousz 14.
Johannsen 236.
Johnson 259.
v. Jolly 162, 163.
Jordan 70, 100, 105.
Joule 97.
Jourdanet 183.
Isidorus Hispalensis 2.
Junghuhn 188, 208.
Jurine 289.

Kaemtz 7, 72, 99, 157, 241.
Kaestner 168.
Kalischer 103.
Kammermann 266.
Kane 234, 235.
Kant 5, 80, 127.
Karl Theodor (Kurfürst) 4.
Karsten 108, 167, 220, 238.
Katzerowsky 124.
Kepler 2, 27, 269, 271, 279.
Kerhallet 126.
Kerner v. Marilaun 184.
Kiessling 103, 130, 282, 283, 286, 295.
Kisch 156.
Kleiber 122.
Klein 111, 121, 176, 238, 239, 266.
Kleomedes 269.
Klossowsky 229.
Kluge 125.
Knorr 117.
Koehl 107.
Koenig 198.
Koeppen 8, 67, 111, 112, 114, 119, 123, 129, 139, 141, 144, 146, 147, 148, 181, 215, 263, 264.
Kohlrausch 47, 287.
Koldewey 242.
Kollbach 193.
Koppe 267.
Kramp 270.
Krapf 158.
Krašan 166.
Krause 258.
Kreil 39, 47, 120, 122, 239, 264.
Kremser 286.
Kreusler 162.
Krone 282.
Krümmel 37, 212.
Kuhn 18.
Kundt 106.
Kunze 52, 60.
Kupffer 157, 241.

La Cour 2.
La Hire 118.
Lakowitz 108.
Lalande 270.
Lambert 168, 169, 279, 280.
Lambrecht 60.
Lamey 124.
Lamont 34, 39, 41, 76, 101, 121, 122.
Landriani 13.
Landrist 163.
Lang 8, 26, 37, 39, 110, 111, 124, 158, 194, 242, 266.
Langer 59.
Langley 70, 119, 170, 171, 172, 285.
Laplace 12, 50, 108, 117, 271.

La Selve 117.
Lavoisier 101.
Lehmann 5.
Leipoldt 221.
Lemström 116.
Lender 15.
Le Roi 20.
Leslie 54.
Lesseps 215.
Leupold 62.
Leverrier 8, 144, 195, 240.
Lewy 14.
Ley 8, 24, 138, 142, 143, 257, 26 1.
Leyst 119, 268.
Libri 31.
Lindemann 119, 194.
Linné 164.
Linsser 165.
Lionardo da Vinci 277.
Listing 15.
Livingstone 176.
Liznar 119, 121, 159, 210.
Lodge 115.
Loewy 124.
Lommel 296.
Lorenz v. Liburnau 192.
Lowitz 294.
Loys de Chéseaux 11.
Luvini 104.
Luz 48.

Mac Clintock 237.
Mac Connel 286.
Mach 108.
Maedler 148.
Maggelsen 276.
Magnus 41.
Mahlmann 152.
Maignan 52.
Main 91, 122.
Mairan 27, 116, 280.
Mantel 182.
Marcet 163.
Marchi 8, 88, 89.
Marinelli 244.
Mariotte 18, 44, 56, 294.
Martin 64, 231.
Martins 45, 171, 236.
Mascart 16, 165.
Mathieu de la Drome 118.
Matteucci 241.
Maurer 70, 159, 172, 185.
Maury 243, 246, 248.
Maximilian (von Mexiko) 206.
v. Maydell 139.
Mayer (Tobias) 102, 168.
Meech 168.
Megenberg (Konrad von) 20.
Melanderhjelm 12.
Meldrum 122, 123, 208, 241.
Melloni 119, 171.
Melsens 108.
Mersenne 52.
Meyer (H.) 55, 94, 111.
Meyer (H. A.) 37.
Meyer (L.)
Michaelis 37.
Micheli du Crest 33.
v. Middendorff 230.
Miller 37.
v. Miller-Hauenfels 141.
Minucius Felix 175.
Mitchell 219.
Moberg 164.
v. Moellendorf 228.
Moeller 85, 87, 114, 132, 146, 147.
Moffat 124.
Mohn 8, 9, 26, 88, 110, 112, 141, 186, 227, 235, 241.
Monro 64.
Monteil 162.
Montigny 272, 273.
Moreau de Jonnes 198.
Morgenstern 60.
Morland 48.
Morley 163.
Morren 164.
Morse 244.
Mühry 139, 230.
Müller (A,) 156.
Müller (F.) 180, 231.
Müller (J.) 29, 252, 289.
Müntz 14.
Musschenbroek 39.
Myer 240.

Nachtigal 204, 208.
Nares 235.
Natterer 32.
Naudet 46.
Naumann 187.
Negretti 37, 38.
Neumann 81, 93, 192, 196, 224.
Neumayer 8, 37, 39, 70, 118, 242, 246, 284, 284.
Newton 3, 77, 272, 277, 290, 291, 293.
Ney 58.
Niemeyer 156.
Nipher 58.
Nissen 224.
Nollet 100.
v. Nordenskioeld 116, 196, 234.
Nuñez (Nonius) 281.

Oberbeek 88.
v. Obermayer 245.
Ochsenius 221.
Oersted 18.
v. Oettingen 165, 166.
Olbers 275.
Ons-en-Bray 64.
v. Oppolzer 272.

Osnaghi 61.
Ott 41.
Overzier 118, 264.
Pachtussow 236.
Palmieri 99, 100, 102, 103, 106.
Papin 51.
Parent 73.
Parkinson 212.
Parmenids 149.
Parrot 276.
Parry 234.
Partsch 22, 81, 93, 192, 196, 224.
Pascal 49, 50.
Paster 206.
Paulsen 116.
Payer 236.
Pechuël-Loesche 151, 221, 230.
Peirce 263.
Pellat 99.
Peltier 99, 101.
Penck 29, 159, 195.
Perier 50.
Pernter 186.
Peschel 151, 221, 230.
Peter 198.
Petermann 76, 195, 233.
Petit 45.
v. Pettenkofer 14, 163.
Pfaff 272.
Pfeifer 245.
Pfeil 198.
Pfister 36.
Philipp (von Mazedonien) 81.
Philon 17.
Piazzi Smyth 238.
Picard 269.
Piche 59, 60.
Pickering 63, 276, 277.
Piddington 123, 136, 239, 250, 251.
Pilar 120, 196.
Pilgram 5.
Plantamour 72.
Planté 106.
Platon 192.
Plinius 2, 105, 116.
Poeppig 183.
Poëy 123, 125.
Pogge 204.
Poggendorff 7, 47.
Poisson 12, 92.
Pokorny 195.
Poleni 63.
Polluge 195.
Posselt 283.
Pouillet 23, 68, 69, 101, 119, 169, 170.
Powell 124.
Prestel 16, 17, 22, 60, 61, 266.
Priestley 13.
Prinsep 36.
v. Prshewalski 231.
Ptolemaeus 269.

Quetelet 8, 157, 164, 165.

Rae 237.
Ragona 8, 100.
Rahn 166, 167.
Ramond 50.
Ramsden 44.
Ranyard 124.
Rappold 198.
Ratzel 27, 106, 139, 158, 232.
Raulin, 222, 225.
Reaumur 33.
Recknagel 64.
Reclam 290.
Redfield 8, 136.
Regnault 18, 52, 92.
Reichard 207.
Reid 136.
Rein 232.
Reis 30, 109, 124.
Reiss 51.
Reiter 206, 233.
Renou 152.
Reye 90, 133, 134, 135, 136.
Reynolds 115.
Riccioli 22.
Ricco 285.
Richmann 106.
Richter (E.) 28.
Richter (K.) 261.
v. Richthofen 161, 196.
Riegler 59.
Riess 101.
Riggenbach 207, 285.
Rink 237.
Ritter 12, 13.
Robb 207.
Robinson 64.
Roellinger 168.
Roentgen 47.
Rohde 195.
Rohlfs 176, 192.
Rojacher 255.
Romme 251.
Roscoe 173.
Ross 218.
Rotch 244.
Roth 292.
Rubenson 241.
Rudberg 18.
Rühlmann 50.
Rümker 242.
Ruete (Frau Emily) 207.
Rung 38, 49, 58, 259.
Rutherford 35, 36.
Rykatschew 129, 144.
van Rysselberghe 70.

Saalschütz 157.
Sabine 118, 121, 291.
Sabler 271.

Sachs 164, 167.
Sagredo 32.
Sanctorius 52.
Sartorius v. Waltershausen 180.
Satke 160.
Saussure 5, 28, 34, 41, 53, 100, 101, 184, 247, 274, 276.
Schaffer 165.
Scheele 13.
Scheiner 294.
Schellen 278.
Schellong 216.
Schering 101.
Scherzer 217.
Scheuchzer 224.
Schiaparelli 13, 119, 260.
Schiller 6.
v. Schlagintweit 183, 274.
Schleiermacher 45.
v. Schleinitz 124.
Schlemüller 19, 168.
Schmick 196.
Schmid (E.) 14, 36, 55.
Schmidt (C. G.) 12.
Schmidt (F.) 196.
Schmidt (J.) 225.
Schmidtlein 206.
Schoder 51, 242.
Schoenbein 67.
Schoene 67.
Scholz 27.
Schouw 224.
Schreiber 40, 49, 51, 67, 76, 160.
Schroeter 3.
Schubert 263.
Schubring 255.
Schübler 100.
Schück 137.
Schultze 47.
Schumacher 294.
Schwedof 115.
Scopoli 164,
Scoresby 87, 287.
Scott 8, 91, 129, 240.
Secchi 48, 49, 70, 244, 278, 279.
Seemann 221.
Segesser 148.
Segner 4, 117.
Seissa (Joseph de) 244.
Semper 218.
Sendtner 39.
Senebier 165.
Seneca 1.
Shanks 259.
Shaw 231.
Siemens (Werner) 101, 129, 139.
Siemens (William) 156.
Simpson 270.
Six 35, 36, 37, 91, 171.
Smith 268.
Snellius 270.
Sohncke 104, 114, 115, 251.
Sokrates 149.
Solander 203.
Soyaux 207.
Soyka 159.
Spitaler 176.
Spoerer 124.
Spring 102, 114.
Sprung 8, 40, 48, 49, 59, 64, 65, 66, 77, 78, 79, 83, 85, 88, 89, 91, 92, 94, 100, 114, 115, 123, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 138, 140, 141, 143, 146, 147, 183, 243.
Stahl 3.
Stark 4.
Staub 165, 166.
Stauber 189.
Stefan 59, 161.
Stillingfleet 164.
Stockwell 195.
Stokes 159.
Stoll 281.
Strachan 220.
Streintz 119.
Studnička 57, 228.
Stübel 116.
Sturm 4.
Suchsland 104.
Suess 118, 137, 229.
Suhle 55.
Supan 8, 128, 181, 223, 227.
Sykes 188.
Symons 91.

Tacchini 121, 225.
Tacitus 116, 175.
Tait 102.
Tarry 241.
Taylor 225.
Teisserenc de Bort 8, 112, 218, 259, 261, 262.
Themistokles 79.
Theodorich (Mönch) 290.
Theophrast 1, 79, 92, 93.
Theorell 70.
Thiel 264.
Thirion 203.
Thirring 231.
Thomas 161.
Thomson 66, 99.
Tissandier 16.
Toaldo 3.
Tobiesen 235, 236.
Toepfer 228.
Tomaschek 166.
Torricelli 18, 42, 45.
Townley 56.
Traumüller 4, 282.
Triewald 116.
Tromholt 116, 121.
Tschirnhaus 118.

Tyndall 27, 31, 291, 292.

Ucke 15, 163.
Ulloa 295.
Unterwurzacher 184.
Urdaneta 248.

Vaughan 213.
Varro (Terentius) 225.
Verbeek 285.
Vergilius 2.
Vettin 7, 8, 23, 83, 90, 114, 115, 127, 134, 135, 147, 148.
Vidi 46.
Violle 79, 170.
Virchow 202.
Viscovich (Graf von) 250.
Viviani 42, 43.
Vogel (E.) 17.
Vogel (H. C.) 170.
Vogel (P.) 95.
Vogler 74.
Volger 97.
Volta 101, 105.

Waehner 113.
Wagner 183, 214, 215.
Wahlenberg 4.
Walbeck 72.
Walferdin 41.
Wallentin 107.
Walther 269.
Wargentin 168, 173, 180.
Weber (W.) 239.
Weber (L.) 275, 276.
Weihrauch 55, 72.
Weilenmann 59, 91.
Weinberg 107.
Weinstein 101.
Wells 20.
Wesselowsky 154.
Wettstein 94.
Wetzstein 176.
Weyer 269.
Wheatstone 278.
Wibel 96.
Wichard 124.
Wichmann 109.
Wiedemann 70.
Wiener 168, 162.
Wilcke 134.
Wild 8, 34, 35, 39, 48, 54, 60, 63, 72, 73, 91, 96, 101, 123, 138, 157, 241, 274.
Wilhelm (von Oranien) 215.
Williamson 198.
Winchell 177.
Winkler 105.
Winslow Upton 238.
v. Winterfeld 296.
Witelo (Vittellion) 269, 279.
Wittwer 139.
Woeikow 8, 26, 128, 151, 158, 161, 172, 185, 186, 190, 191, 192, 193, 196, 230, 231, 236, 241.
Wohlwill 31.
v. Wolf (C.) 64, 103.
Wolf (R.) 121, 124, 184, 281.
Wolfers 123.
Wollaston 51.
Wollny 20, 156, 159, 167.
Woltmann 66.
Wragge 245.
v. Wrangell 92, 236.
v. Wroblewski 15.
Wurfbain 29.

Young 239.

Zambra 37, 38.
Zanotti Bianco 76.
Zehden 219.
Zenger 108, 124.
Zenker 23, 286.
v. Zichy 128.
Ziegler 165.
Zoellner 101, 124.
Zoeppritz 52, 83, 128, 211.

Bei **Theodor Ackermann,** kgl. Hof-Buchhändler in **München,**
sind ferner erschienen:

Günther, Siegmund, *Grundlehren der mathematischen Geographie und elementaren Astronomie.* Zum Gebrauche in höheren Mittelschulklassen und bei akademischen Vorträgen. Zweite durchaus umgearbeitete u. vermehrte Aufl. (XI u.) 157 S. gr. 8⁰ mit 52 Text-Illustrationen. 1886. M. 2. —

— *Erdkunde und Mathematik* in ihren gegenseitigen Beziehungen. gr. 8⁰. 31 S. 1887. M. 1. —

Bauschinger, Dr. Julius, *Untersuchungen über die Bewegung des Planeten Merkur.* 60 S. Lex. 8⁰. 1885. M. 1.60

van Bebber, Jac., *Die Regenverhältnisse Deutschlands.* 121 S. hoch 4⁰. mit 9 lith. Tab. 1877. M. 4.80.

Bericht, Amtlicher, *der 50. Versammlung Deutscher Naturforscher und Aerzte in München vom 17. bis 22. September 1877.* Zusammengestellt vom Redactionscomité (VIII u.) XXXIV und 364 S. gr. 4⁰. 1877. M. 8.50.

Ergebnisse *der Beobachtungen der meteorologischen Stationen im Königreich Bayern während des fünfjährigen Zeitraumes 1879—1883.* (Sonder-Abdruck aus den Beobachtungen der meteorologischen Stationen im Königreich Bayern. Bd. V). (XX u.) 20 S. mit 3 Tafeln. gr. 4⁰. M. 2.40.

Formulare *der k. b. meteorologischen Centralstation München:*
Form. I (Station 2. Ordnung) das Dutzend M. 2.50.
„ II (Station 3. Ordnung) das Dutzend M. 2. —
„ III (Tagebuch für Stationen 2. Ordnung) das Dutzend M. 5. —
„ IV (Tagebuch für Stationen 3. Ordnung) das Dutzend M. 3.50.

Instruction *für die Beobachter an den meteorologischen Stationen des Königreichs Bayern.* Herausgegeben von der k. bayr. meteorolog. Centralstation München. Mit 8 Text-Illustrationen. (IV u.) 26 S. Imp.-8⁰. 1878. M. 1.60.

Lang, Dr. Carl, *Das Klima von München nach 67 jährigen Beobachtungen.* Separatabdruck aus dem Bande IV der Beobachtungen der meteorologischen Stationen im Königreich Bayern. (XLII u.) 84 S. mit 3 Tafeln. 4⁰. 1883. M. 3. —

Recknagel, Georg, *Thermometrische Versuche.* Habilitationsschrift. (IV u.) 44 S. gr. 8⁰. mit einer lith. Tafel. 1863. M. — 60.

Schmidt, Max, *Ueber den praktischen Werth Naudet'scher Aneroide.* Nach den Resultaten einer Anzahl vergleichender Beobachtungen und Höhenmessungen mit drei Naudet'schen Aneroiden. 21 S. Lex. 8⁰. 1876. M. 1. —

Stark, Friedrich, *Ueber die Möglichkeit einer Axenänderung der Erde.* 32 S. Lex. 8⁰ mit 30 Figuren auf 4 lith. Tafeln. 1875. M. 1.20.

Druck von C. Brügel und Sohn in Ansbach.

18/4

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Günther, Siegmund,

Die Meteorologie ihrem neuesten Standpunkte gemäß und mit besonderer Berü
cksichtigung geographischer Fragen mit 71 Abbildungen

München 1889

Phys.sp. 271 pb
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11881607-4